

Laio Oriel Seman

**MÍNIMOS QUADRADOS PARCIAIS NA MODELAGEM DA  
APRENDIZAGEM ATIVA NA ENGENHARIA ELÉTRICA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Eduardo Augusto Bezerra, Ph.D.

Coorientador: Prof. Romeu Hausmann, Dr.

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC

Seman, Laio Oriel

Mínimos quadrados parciais na modelagem da aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica / Laio Oriel Seman ; orientador, Eduardo Augusto Bezerra, coorientador, Romeu Hausmann, 2017.

305 p.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

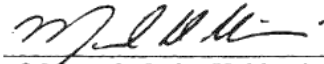
1. Engenharia Elétrica 2. Estatística. 3. Mínimos quadrados parciais. 4. Modelagem. 5. Aprendizagem Ativa. I. Bezerra, Eduardo Augusto. II. Hausmann, Romeu. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

Laio Oriel Seman

## MÍNIMOS QUADRADOS PARCIAIS NA MODELAGEM DA APRENDIZAGEM ATIVA NA ENGENHARIA ELÉTRICA

Esta tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Engenharia Elétrica”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

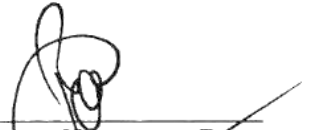
Florianópolis, 11 de outubro de 2017.



Prof. Marcelo Lobo Heldwein, Dr.  
Coordenador do Curso

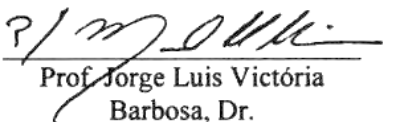


Prof. Eduardo Augusto Bezerra,  
Ph.D. – Orientador  
UFSC

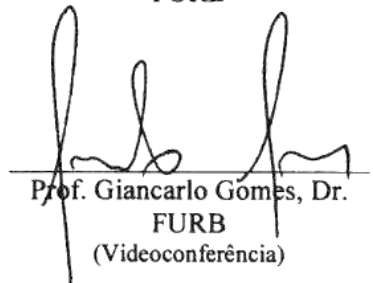


Prof. Romeu Hausmann, Dr. –  
Coorientador  
FURB

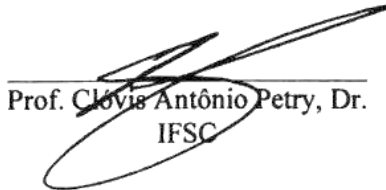
### Banca Examinadora:



Prof. Jorge Luis Victória  
Barbosa, Dr.  
UNISINOS  
(Videoconferência)



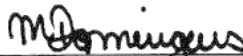
Prof. Giancarlo Gomes, Dr.  
FURB  
(Videoconferência)



Prof. Clóvis Antônio Petry, Dr.  
IFSC



Prof. Werner Kraus Junior, Dr.  
UFSC



Prof. Maria José Carvalho de Souza Domingues, Dr.  
FURB



*Dedico este trabalho aos meus pais  
que tanto se esforçaram para que eu  
pudesse ter a oportunidade que não  
tiveram.*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Eduardo Augusto Bezerra, que teve a competência e a bravura de me orientar neste tema quando tanto outros recusaram-se. O professor Bezerra, em uma conversa por Skype, recém operado de seu ombro, foi responsável por permitir com que eu desse continuidade a este trabalho.

Ao meu coorientador, professor Romeu Hausmann, que continua comigo nesta seara de falar sobre educação em Engenharia Elétrica desde minha graduação. O professor Romeu, embora nem sempre compartilhe da mesma visão que eu pelas coisas, certamente compartilha da mesma paixão.

Ao professor Luiz Alberto Koehler, por ter participado do projeto integrado ao longo desses últimos anos.

Ao professor Giancarlo Gomes, por ter me apresentado à PLS-PM.

Ao professor Telles Brunelli Lazzarin, quem primeiro me abriu as portas da UFSC.

Aos colegas da UFSC, mestrandos e doutorandos, pela convivência e pelos momentos de descontração.

Por fim, agradeço aos estudantes que aos longos dos anos colaboraram participando do projeto integrado, sem eles este trabalho não seria possível.





*A gente pode morar numa casa mais ou menos, numa rua mais ou menos, numa cidade mais ou menos, e até ter um governo mais ou menos. A gente pode dormir numa cama mais ou menos, comer um feijão mais ou menos, ter um transporte mais ou menos, e até ser obrigado a acreditar mais ou menos no futuro. A gente pode olhar em volta e sentir que tudo está mais ou menos. Tudo bem. O que a gente não pode mesmo, nunca, de jeito nenhum é amar mais ou menos, sonhar mais ou menos, ser amigo mais ou menos, namorar mais ou menos, ter fé mais ou menos, e acreditar mais ou menos. Senão a gente corre o risco de se tornar uma pessoa mais ou menos.*

Chico Xavier

*The surest way to corrupt a youth is to instruct him to hold in higher esteem those who think alike than those who think differently.*

Friedrich Nietzsche



## RESUMO

Esta tese propõe modelar o uso da aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica quando utilizada em complemento ao método de ensino clássico com raízes na transferência de conhecimento unilateral, no qual o professor é responsável por todos os passos do ensino-aprendizagem. Como forma de avaliar esta abordagem, foi proposta e aplicada na Universidade Regional de Blumenau (FURB) uma metodologia de aprendizagem ativa denominada *Project-Based Learning Agile* (PBL<sup>A</sup>), especialmente desenvolvida para cursos em período não integral. Por meio da análise multivariada das aplicações do projeto que ocorreram ao longo de seis semestres, utilizando modelagem de equações estruturais com estimação por mínimos quadrados parciais (PLS-PM) e regressão *fuzzy* para considerar as incertezas da condição humana, foi possível compreender estatisticamente como se dá a formação da aprendizagem diante da PBL<sup>A</sup>. O modelo teve a sua homogeneidade testada e comprovada por meio de algoritmos heurísticos. A análise dos dados coletados na forma de questionários aponta que o processo educacional aplicado neste trabalho tem sua fundação em uma base humanista, formada pelos aspectos individuais (Autoestima e Autorrealização) e pela Cooperação entre os estudantes, e assim – sustentada por essa humanização – a PBL<sup>A</sup> serve como base para o Aprendizado. Deste modo, os resultados da análise estatística apontam que a humanização é parte importante no processo educacional da formação de um futuro engenheiro eletricitista.

**Palavras-chave:** Agile. Educação na Engenharia Elétrica. PBL. PLS-PM. Regressão *Fuzzy*.



## ABSTRACT

This research proposes modeling the usage of active learning in Electrical Engineering as a complement to the classical teaching method with roots in unilateral knowledge transfer, where the instructor is responsible for all the teaching-learning process. In order to assess this approach an active learning methodology was proposed and applied at the Regional University of Blumenau (FURB). The proposed methodology, especially designed for part-time courses, was named Project-Based Learning Agile (PBL<sup>A</sup>). By the multivariate analysis of the projects applications that took place throughout six semesters, using partial least squares path modeling (PLS-PM) with fuzzy regression to take into account the human condition uncertainties, it was possible to understand statistically how the learning process is connected to the PBL<sup>A</sup>. The model had its homogeneity tested and proved by means of heuristic algorithms. The data analysis shows that the educational process applied in this work has its roots in a humanist basis, formed by individual aspects (Self-esteem and Self-realization) and by the Cooperation among students, and that the PBL<sup>A</sup>, sustained by this Humanization, serves as a basis for the Learning. Thus, the statistical analysis results suggest that humanization is an important part in the education process of the future engineer.

**Keywords:** Agile. Education on Electrical Engineering. *Fuzzy Regression*. PBL. PLS-PM.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aspectos que afetam a prática e a educação em engenharia segundo Ribeiro (2005).....	34
Figura 2 - Relação professor/estudante: heteroestruturação.....	42
Figura 3 - Relação professor/estudante: autoestruturação.....	43
Figura 4 - Relação professor/estudante: interestruturação.....	43
Figura 5 - As múltiplas inteligências de Gardner.....	52
Figura 6 - <i>Continuum</i> de motivação de Deci e Ryan.....	55
Figura 7 - Necessidades inatas da autodeterminação.....	56
Figura 8 - Hierarquia das necessidades.....	61
Figura 9 - Padrão PBL GOLD da BIE.....	76
Figura 10 - Fatores motivantes em Kumar et al. (2013).....	81
Figura 11 - Fatores desmotivadores em Kumar et al. (2013).....	82
Figura 12 - Resultado: As atividades em classe me ajudaram a aprender sobre micro controladores e suas aplicações (KIM, 2012).....	93
Figura 13 - Resultado: O professor conseguiu passar o conteúdo do curso de forma satisfatória para os estudantes (KIM, 2012).....	94
Figura 14 - Eu recomendaria esse curso para outros estudantes (KIM, 2012).....	94
Figura 15 - Quantas horas por semana você passa estudando para esse curso tirando as horas em classe (KIM, 2012)?.....	95
Figura 16 - Hipóteses de pesquisa.....	99
Figura 17 - Principais dificuldades e/ou angústias encontradas pelos professores no início da atuação docente.....	100
Figura 18 - Escolha da abordagem diante do propósito da análise.....	109
Figura 19 - Diagrama de ligação de um modelo reflexivo.....	111
Figura 20 - Diagrama de ligação de um modelo formativo.....	112
Figura 21 - Modelo auxiliar para entendimento da PLS-PM.....	113
Figura 22 - Estágios da PLS-PM.....	121
Figura 23 - Superbloco de variáveis latentes.....	129
Figura 24 - Métodos de busca por segmentações em PLS-PM.....	140
Figura 25 - Função de pertinência triangular.....	153
Figura 26 - Função de pertinência triangular considerando o intervalo h.....	154
Figura 27 - Exemplo de aumento do intervalo <i>fuzzy</i> com o incremento do fator h.....	154
Figura 28 - Função de pertinência triangular não simétrica.....	157
Figura 29 - Esquema simplificado de uma árvore de decisões.....	172
Figura 30 - As três frentes de um projeto.....	175
Figura 31 - Grupo de processos do PMBOK.....	176

Figura 32 - Project-Based Learning Agile. ....	184
Figura 33 - Os seis valores necessários à PBL. ....	185
Figura 34 - Diagrama de Venn da PBL. ....	186
Figura 35 - Fase 2: <i>Loop</i> de desenvolvimento. ....	188
Figura 36 - Ciclo de vida do projeto. ....	190
Figura 37 - Constructo de segunda ordem: humanização. ....	199
Figura 38 - Características tipo I do constructo Humanização. ....	201
Figura 39 - Modelo proposto de construção da PBL. ....	202
Figura 40 - Conjunto intersecção das duas disciplinas. ....	206
Figura 41 - Projeto proposto aos estudantes. ....	208
Figura 42 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2014/2). ....	210
Figura 43 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2015/1). ....	211
Figura 44 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2015/2). ....	212
Figura 45 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2016/1). ....	213
Figura 46 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2016/2). ....	215
Figura 47 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2017/1). ....	216
Figura 48 - Análise de frequência das aplicações a dimensão Aprendizado. ....	225
Figura 49 - Análise de frequência das aplicações para a dimensão PBL. ....	225
Figura 50 - Análise de frequência das aplicações a dimensão Autoestima ....	226
Figura 51 - Análise de frequência das aplicações para a dimensão Autorrealização. ....	226
Figura 52 - Análise de frequência das aplicações para a dimensão Cooperação. ....	227
Figura 53 - Análise Paralela da dimensão PBL. ....	232
Figura 54 - Análise Paralela da dimensão Aprendizado. ....	234
Figura 55 - Análise Paralela da dimensão Cooperação. ....	236
Figura 56 - Análise Paralela da dimensão Autoestima. ....	238
Figura 57 - Análise Paralela da dimensão Autorrealização. ....	240
Figura 58 - ScatterPlot da dimensão PBL. ....	242
Figura 59 - ScatterPlot da dimensão Aprendizado. ....	242
Figura 60 - ScatterPlot da dimensão Cooperação. ....	243
Figura 61 - ScatterPlot da dimensão Autoestima. ....	243
Figura 62 - ScatterPlot da dimensão Autorrealização. ....	244
Figura 63 - Modelo inicial do constructo de segunda ordem Humanização a partir da repetição dos indicadores. ....	248
Figura 64 - Modelo reduzido do constructo de segunda ordem Humanização a partir da regressão PLS. ....	248
Figura 65 - Modelo estrutural da PBL. ....	258



Figura 66 - Pirâmide de sustentação da PBL.....	261
Figura 67 - Diagrama de extremos e quartis dos manifestos.....	264
Figura 68 - Regressão entre Aprendizado e PBL para limite inferior, tendência central e limite superior.....	265
Figura 69 - Regressão entre Humanização e PBL para limite inferior, tendência central e limite superior.....	266
Figura 70 - Variação nos índices de confiabilidade da regressão envolvendo PBL e Aprendizado devido à mudanças no índice h.....	267
Figura 71 - Variação nos índices de confiabilidade da regressão envolvendo PBL e Humanização devido à mudanças no índice h. ....	268
Figura 72 - IMPA: Influência dos constructos no Aprendizado. ....	270
Figura 73 - IMPA: Influência dos indicadores no Aprendizado. ....	271
Figura 74 - Resultado da função de divergência ( $\Delta E$ ) para cada classe isoladas nas duas técnicas de heterogeneidades não-observadas utilizadas. ....	276
Figura 75 - Gráfico de distribuição da potência estatística. ....	277
Figura 76 - Relação do tamanho de amostrar com a potência estatística relativa.....	278



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Teorias comportamentalistas x cognitivistas.....	45
Quadro 2 - Cognitivistas: teorias.....	46
Quadro 3 - Cognitivistas: aprendiz.....	47
Quadro 4 - Cognitivistas: docente.....	47
Quadro 5 - Cognitivistas: aprendizagem.....	47
Quadro 6 - Cognitivistas: inteligência.....	48
Quadro 7 - Cognitivistas: avaliação.....	48
Quadro 8 - Descrição das inteligências múltiplas de Gardner.....	51
Quadro 9 - A taxonomia da motivação humana.....	57
Quadro 10 - Competências cognitivas do século 21.....	69
Quadro 11 - Competências intrapessoais do século 21.....	69
Quadro 12 - Competências interpessoais do século 21.....	70
Quadro 13 - <i>Project-Based Learning versus Problem-Based Learning</i> .....	72
Quadro 14 - Relação dos autores listado pelo tipo de análise realizada de uma aplicação de PBL.....	96
Quadro 15 - Adequação à análise fatorial.....	103
Quadro 16 - ACP x AFE.....	106
Quadro 17 - Algoritmo da PLS-PM de Lohmöller (1989) com <i>path scheme</i> .....	121
Quadro 18 - Algoritmo da PLS-PM de Wold (1985) com <i>path scheme</i> .....	122
Quadro 19 - Comparação entre os procedimentos propostos por Lohmöller e Wold.....	124
Quadro 20 - Avaliação do modelo de mensuração (externo) para variáveis reflexivas.....	130
Quadro 21 - Avaliação do modelo estrutural (interno).....	131
Quadro 22 - Algoritmo da qQP-PLS-PM.....	163
Quadro 23 - Algoritmo da TSqQP-PLS-PM.....	166
Quadro 24 - Manifesto Agile.....	178
Quadro 25 - Autores que utilizaram Agile em conjunto com PBL.....	178
Quadro 26 - Manifesto Agile adaptado para <i>Project-Based Learning Agile</i> .....	180
Quadro 27 - Indivíduos e interações contra ferramentas e processos: os prós.....	181
Quadro 28 - Indivíduos e interações contra ferramentas e processos: os contras.....	182
Quadro 29 - Dimensão: PBL.....	192
Quadro 30 - Dimensão: Aprendizado.....	193
Quadro 31 - Dimensão: Cooperação.....	196

Quadro 32 - Dimensão: Autoestima.....	197
Quadro 33 – Dimensão: Autorrealização.....	198
Quadro 34 - Autores por dimensão.....	199

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Avaliação das principais competências desenvolvidas em Lamar et al. (2010).	79
Tabela 2 - Avaliação de outras competências desenvolvidas em Lamar et al. (2010).	79
Tabela 3 - Opinião dos estudantes em Brackenbury et al. (2010).	83
Tabela 4 - Opinião dos estudantes do grupo de controle em Guzman et al. (2016).	84
Tabela 5 - Opinião dos estudantes do grupo de experimental em Guzman et al. (2016).	85
Tabela 6 - Resultados dos questionários em Nonclercq (2010).	88
Tabela 7 - Resultado dos questionários em Santos-Martin et al. (2012).	90
Tabela 8 - Resultado da confiança dos estudantes em Mitchell et al. (2010).	91
Tabela 9 - Resultado da aceitação da PbBL em Mitchell et al. (2010).	92
Tabela 10 – Assunto abordado no projeto por semestre.	217
Tabela 11 - Total de respondentes por semestre.	217
Tabela 12 - Dimensão: PBL – Resultados totais.	219
Tabela 13 - Dimensão: “Aprendizado” – Resultados totais.	220
Tabela 14 - Dimensão: "Cooperação" – Resultados totais.	221
Tabela 15 - Dimensão: “Autoestima” – Resultados totais.	222
Tabela 16 - Dimensão: "Autorrealização" – Resultados totais.	223
Tabela 17 - Média e desvio padrão dos resultados totais.	228
Tabela 18 - Teste de Saphiro-Wilk: verificação da normalidade.	230
Tabela 19 - Adequação à análise fatorial.	230
Tabela 20 - ACP da dimensão PBL.	231
Tabela 21 - Matriz de correlação da dimensão PBL.	233
Tabela 22 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão PBL.	233
Tabela 23 - ACP da dimensão Aprendizado.	234
Tabela 24 - Matriz de correlação da dimensão Aprendizado.	235
Tabela 25 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão Aprendizado.	235
Tabela 26 - ACP da dimensão Cooperação.	235
Tabela 27 - Matriz de correlação da dimensão Cooperação.	236
Tabela 28 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão Cooperação.	237
Tabela 29 - ACP da dimensão Autoestima.	237
Tabela 30 - Matriz de correlação da dimensão Autoestima.	238
Tabela 31 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão Autoestima.	239
Tabela 32 - ACP da dimensão Autorrealização.	239
Tabela 33 - Matriz de correlação da dimensão Autorrealização.	240

Tabela 34 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão Autorrealização.	241
Tabela 35 - Indicador de confiabilidade.	249
Tabela 36 – Verificação de multicolinearidade.	251
Tabela 37 - Confiabilidade da consistência interna.	253
Tabela 38 - Validação convergente.	253
Tabela 39 - Validação discriminante dos constructos de primeira ordem (critério de Fornell-Larcker).	254
Tabela 40 - Verificação discriminante (cargas cruzadas).	255
Tabela 41 - Validação discriminante dos constructos de primeira ordem (HTMT).	256
Tabela 42 - Índice geral de influências por pressupostos.	260
Tabela 43 – índices $R^2$ dos pressupostos.	261
Tabela 44 - Índice $Q^2$ dos indicadores.	262
Tabela 45 - Índice $Q^2$ das variáveis latentes.	262
Tabela 46 - Coeficientes de caminho com interpretação dos coeficientes <i>fuzzy</i> .	264
Tabela 47 - Comparação das populações em cada uma das aplicações.	272
Tabela 48 - Análise da invariância de medição das dimensões.	273
Tabela 49 - Situações possíveis em um teste de hipóteses.	276
Tabela 50 - Simulação de Monte Carlo para população de 15 pessoas.	279

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abr./Sig.	Descrição
ACP	Análise de Componentes Principais
AFE	Análise Fatorial Exploratória
AIC	Akaike's Information Criteria
AP	Análise Paralela
AVE	Variância Média Extraída
BIC	Baeyesian Information Criteria
BIE	Buck Institute for Education
BTS	Teste de Esfericidade de Bartlett
CB-SEM	<i>Covariance Based Structural Equation Modeling</i>
CHD	Classificação Hierárquica Descendente
EC	Equação Característica
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>
FURB	Universidade Regional de Blumenau
GSCA	<i>Generalized Structured Component Analysis</i>
HTMT	Índice de Correlação <i>Heterotrait-Monotrait</i>
IC	Índice de Confiabilidade
ILS	Index of Learning Styles
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MEC	Ministério da Educação
MEE	Modelagem de Equações Estruturais
MF	Média Final
NGC	Notal Geral de Controle
NGF	Notal Geral da Fonte
NGP	Notal Geral do Projeto
N-ILS	<i>New Index of Learning Styles</i>
PA	<i>Parallel Analysis</i>
PbBL	<i>Problem-Based Learning</i>
MICE	<i>Multiple Imputation by Chained Equations</i>
k-NN	<i>k-Nearest Neighbors</i>
PBL	<i>Project-Based Learning</i>
PBL <sup>A</sup>	<i>Project-Based Learning Agile</i>
PCA	Principal Component Analysis
PLS-PM	<i>Partial Least Squares Path Modeling</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PRESS	Soma dos Erros Quadráticos da Predição
QCIIIP	Questionário de Competências Intrapessoais, Interpessoais e Profissionais
qQP-PLS-PM	Quasi-Quadratic Possibilistic Partial Least Squares Path Modeling

REBUS	<i>Response-Based Unit Segmentation</i>
RNA	Rede Neural Artificial
SoC	<i>System-on-Chip</i>
SSE	Soma dos Erros Quadrados
SSO	Soma dos Quadrados da Amostra Subtraída de Sua Média
SSR	Soma dos Quadrados da Regressão
SST	Soma Total dos Quadrados
TSqQP-PLS-PM	Two Stage quasi-Quadratic Possibilistic Partial Least Squares Path Modeling
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UnB	Universidade de Brasília
CM	<i>Closeness Measure</i>
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
VIF	<i>Variance Influence Factor</i>
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

---



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição
$\tilde{A}_i$	coeficiente <i>fuzzy</i> de ordem $i$
$\beta_i$	coeficientes de caminho de índice $i$
$\beta$	erro do tipo II
$\lambda$	carga fatorial
$\lambda^2$	comunalidade
$\lambda_{LAG}$	multiplicador de Lagrange
$\gamma$	critério de parada do missForest
$\phi$	distribuição normal padrão
$\Phi$	distribuição normal padrão acumulada
$\hat{\theta}$	valor estimado por uma replicação
$\Gamma$	matriz de coeficientes de caminho das variáveis latentes exógenas
$B$	matriz de coeficientes de caminhos das variáveis latentes endógenas
$POS_{pbest}$	melhor posição já atingida pela partícula
$POS_{gbest}$	melhor posição global do enxame
$\zeta$	resíduo estrutural
$\Psi$	matriz diagonal com a variâncias das regressões dos coeficientes de caminho
$\tilde{y}$	variável dependente <i>fuzzy</i>
$\rho_A$	índice de confiabilidade $\rho_A$
$\rho$	probabilidade
$\xi$	escores das variáveis latentes exógenas
$\eta$	escores das variáveis latentes endógenas
$N_\eta$	número de variáveis latentes endógenas no modelo
$\hat{z}_0$	viés corrigido
$z^{(\alpha)}$	ponto percentual $\alpha$ de uma distribuição normal padrão
$\sigma$	resíduo do modelo de medição
$\tau$	índice de escolha dos modos da PLS-PM
$a$	viés acelerado
$a_c$	coeficiente central da regressão <i>fuzzy</i>
$a_w$	coeficiente de espalhamento simétrico da regressão <i>fuzzy</i>
$a_{wL}$	coeficiente de espalhamento esquerdo da regressão <i>fuzzy</i>

$a_{wR}$	coeficiente de espalhamento direito da regressão <i>fuzzy</i>
$Brep$	número de replicações
$c$	matriz de conectividade das variáveis latentes
$C_1$	peso relativo à partícula
$C_2$	peso relativo ao enxame
$CA$	alfa de Cronbach
$cc$	variável para permitir a transição do estado combinatório para o contínuo
$cor$	correlação de Pearson
$cov$	covariância
$CR$	confiabilidade composta
$df$	graus de liberdade
$e$	<i>scheme</i>
$E$	erro de Pv
$E(x)$	valor esperado de x
$F$	erro de Rv
$g$	variável auxiliar de definição de <i>scheme</i>
$h$	grau de viabilidade um sistema <i>fuzzy</i>
$H$	número de componentes
$ic$	índice para invariância composicional
$ICM$	matriz de correção implícita
$J$	função custo
$K$	quantidade de itens
$K_1$	coeficiente de peso da minimização por mínimos quadrados
$K_2$	coeficiente de peso da minimização possibilística
$L$	matriz triangular inferior decomposta de Cholesky
$L(x)$	função de Lagrange
$LV_j$	variável latente de índice i
$M$	matriz aleatório independentes
$N$	soma dos itens
$N_{SEG}$	número de parâmetros livres
$P$	cargas fatoriais de Pv
$pos$	posição
$Pv$	matriz dos preditores
$Q$	cargas fatoriais de Rv
$Q^2$	índice de relevância preditiva
$R$	número total de variáveis preditoras em todas as regressões do modelo
$R^2$	coeficiente de determinação
$Rv$	matriz das respostas
$sd$	desvio padrão
$seg$	segmento da mistura finita
$sign$	sinal

$T$	matriz de escores dos componentes de Pv
$U$	matriz de escores dos componentes de Rv
$u(x)$	função de pertinência
$u_{ij}$	matriz parcial de covariância
$v$	velocidade
$var$	variância
$w$	peso fatorial
$W$	índice de Shapiro-Wilk
$X$	conjunto de dados
$x^2$	<i>chi</i> -quadrado
$Y_j$	escore da variável latente de índice $i$
$Z$	estimação interna da $LV$

---



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>33</b>
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	36
1.2 CONTRIBUIÇÃO .....	37
1.3 JUSTIFICATIVA .....	37
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	39
1.5 PUBLICAÇÕES ORIUNDAS DA TESE.....	39
<b>2 MIRANTE TEÓRICO .....</b>	<b>42</b>
2.1 EDUCAÇÃO CONTEMPORÂNEA.....	45
2.2 IGUAIS NAS DIFERENÇAS .....	50
<b>2.2.1 Diferentes motivações .....</b>	<b>53</b>
2.3 HUMANIZAÇÃO DO ENSINO.....	58
<b>2.3.1 Os sete saberes necessários à educação .....</b>	<b>59</b>
<b>2.3.2 Pirâmide de Maslow.....</b>	<b>60</b>
<b>2.3.3 Os Códigos de Modernidade .....</b>	<b>61</b>
<b>2.3.4 Mais aprendizagem, mais sociedade, mais comunicação.....</b>	<b>62</b>
<b>2.3.5 Considerações sobre a humanização do ensino .....</b>	<b>63</b>
2.4 DESAFIOS DO ENGENHEIRO NO SÉCULO 21 E AS CONSEQUENTES MUDANÇAS DE PARADIGMA .....	65
<b>2.4.1 As competências do século 21 .....</b>	<b>69</b>
2.5 APRENDIZAGEM ATIVA NA ENGENHARIA ELÉTRICA ...	70
<b>2.5.1 Aprendizagem Orientada por Projetos.....</b>	<b>73</b>
2.5.1.1 Casos de PBL na Engenharia Elétrica.....	78
<b>2.5.2 Aprendizagem Baseada em Problemas.....</b>	<b>86</b>
2.5.2.1 Casos de PbBL na Engenharia Elétrica.....	87
<b>2.5.3 Demasiado otimismo? (Considerações sobre a         aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica) .....</b>	<b>95</b>
2.6 HIPÓTESES DE PESQUISA .....	96
2.7 <i>HOMO QUAERERE</i> : O HOMEM QUE PESQUISA (CONSIDERAÇÕES PARCIAIS).....	99
<b>3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS DA PESQUISA.....</b>	<b>102</b>
3.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS .....	104
<b>3.1.1 Análise Paralela .....</b>	<b>107</b>
3.2 <i>PARTIAL LEAST SQUARES PATH MODELING</i> .....	107
<b>3.2.1 Modelo Estrutural.....</b>	<b>110</b>
<b>3.2.2 Modelo de Mensuração.....</b>	<b>111</b>
<b>3.2.3 Relações de Peso .....</b>	<b>113</b>

<b>3.2.4 Modelo Operativo .....</b>	<b>113</b>
<b>3.2.5 Critérios de Otimização.....</b>	<b>124</b>
3.2.5.1 Lagrangiana associada ao Novo Modo A .....	126
3.2.5.2 Modelo Hierárquico com Modo A e <i>Path Scheme</i> ....	129
<b>3.2.6 Validação dos Resultados .....</b>	<b>130</b>
3.2.6.1 <i>Bootstrapping</i> .....	136
3.2.6.1.1 <i>Boolean-Stine Bootstrapping</i> .....	138
3.2.6.2 Análise de Segmentos.....	139
3.2.6.2.1 <i>Comparação de segmentos</i> .....	140
3.2.6.2.2 <i>Avaliação de invariância de medição</i> .....	142
3.2.6.2.3 <i>Segmentação por REBUS-PLS</i> .....	143
3.2.6.2.4 <i>Segmentação por algoritmos genéticos</i> .....	145
3.2.6.2.5 <i>Segmentação por enxame de partículas</i> .....	147
3.2.6.2.6 <i>Segmentação por misturas finitas</i> .....	149
3.3 REGRESSÃO <i>FUZZY</i> .....	151
<b>3.3.1 Regressão Possibilística .....</b>	<b>152</b>
<b>3.3.2 Regressão Híbrida.....</b>	<b>157</b>
<b>3.3.3 Índice de Confiabilidade.....</b>	<b>159</b>
3.4 PLS-PM POSSIBILÍSTICO .....	161
<b>3.4.1 qQP-PLS-PM .....</b>	<b>161</b>
<b>3.4.2 TSqQP-PLS-PM.....</b>	<b>165</b>
3.5 IMPUTAÇÃO.....	167
<b>3.5.1 missForest .....</b>	<b>170</b>
3.6 COMPOSIÇÃO FERRAMENTAL (CONSIDERAÇÕES PARCIAIS).....	172
<b>4 METODOLOGIA PROPOSTA .....</b>	<b>174</b>
4.1 METODOLOGIAS PRECURSORAS .....	175
<b>4.1.1 Metodologia de Santana (2009).....</b>	<b>175</b>
<b>4.1.2 Metodologia de Seman (2015).....</b>	<b>177</b>
4.2 METODOLOGIA PROPOSTA .....	177
<b>4.2.1 Project-Based Learning Agile .....</b>	<b>180</b>
4.2.1.1 Valores do Projeto.....	184
4.2.1.2 Etapas do projeto .....	186
4.2.1.2.1 <i>Pré-Projeto</i> .....	187
4.2.1.2.2 <i>Projeto</i> .....	187
4.2.1.2.3 <i>Pós-Projeto</i> .....	191
4.3 QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO PROCESSO.....	191
<b>5 IMPLEMENTAÇÃO E MODELAGEM DO PROCESSO.....</b>	<b>204</b>

5.1 APLICAÇÕES .....	208
5.1.1 Aplicação de 2014/2 .....	208
5.1.2 Aplicação de 2015/1 .....	210
5.1.3 Aplicação de 2015/2 .....	212
5.1.4 Aplicação de 2016/1 .....	213
5.1.5 Aplicação de 2016/2 .....	214
5.1.6 Aplicação de 2017/1 .....	215
5.2 ANÁLISE DAS APLICAÇÕES .....	216
5.2.1 Análise de Frequência .....	218
5.2.2 Análise Descritiva e de Componentes Principais.....	228
5.2.3 Modelagem de Equações Estruturais .....	244
5.2.3.1 Redução do Constructo de Segunda Ordem .....	245
5.2.3.2 Indicadores de Confiabilidade .....	249
5.2.3.3 Confiabilidade e Validação da Consistência Interna..	250
5.2.3.4 Validação Convergente .....	253
5.2.3.5 Validação Discriminante .....	254
5.2.3.6 Resultados do Modelo Estrutural.....	257
5.2.3.7 Coeficientes de Caminho <i>quasi</i> -Possibilísticos .....	263
5.2.4 <i>Importance-Performance Map</i> .....	268
5.2.5 Heterogeneidades observadas e não-observadas .....	271
5.2.5.1 Comparação das aplicações (heterogeneidades observadas).....	271
5.2.5.2 Busca por heterogeneidades não-observadas.....	274
5.2.6 Análise estatística de potência .....	276
5.2.6.1 <i>A priori</i> .....	277
5.2.6.2 <i>Post-hoc</i> .....	278
6 CONCLUSÕES .....	281
6.1 LIMITAÇÕES .....	284
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	284
6.3 VALOR DO TRABALHO .....	285
REFERÊNCIAS.....	286
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA PBL....	300
APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE.....	303
ANEXO A – CORREÇÃO DA ATENUAÇÃO DOS RESULTADOS .....	304





O advento tecnológico recente tem feito com que o mundo passe por uma transformação estrutural ao longo das últimas décadas, de modo que um novo paradigma tecnológico culminou com o mundo entrando na chamada era da informação. Neste contexto, a mudança para as profissões que lidam diretamente com tecnologia são ainda mais críticas, devido à constante evolução das ferramentas científicas e das necessidades da sociedade (CASTELLS, 2010; TAYLOR, 1998).

A velocidade com que essas mudanças vêm acontecendo traz junto com ela a necessidade da atualização dos cursos de engenharia, que agora possuem entre seus ingressantes diversos estudantes que já nasceram nesta nova era. A esses novos engenheiros cabe o desafio de criar e moldar um mundo dinâmico, multifacetado e integrado (SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008).

Devido a essa evolução do perfil dos estudantes, e da engenharia como um todo, os conceitos necessários à atualização agora também dizem respeito a interligação do engenheiro com o mundo, entender o papel do novo engenheiro na sociedade, encaixá-lo em um mercado de trabalho no qual o conhecimento tradicional esperado de um engenheiro – envolvendo equações e conceitos matemáticos – não é suficiente como diferencial (DUDERSTADT, 2010; SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008). Hoje espera-se de um engenheiro várias competências não comuns outrora:

Nesta proposta ousada nos deparamos com uma nova equação. [...] As variáveis deixam de ser apenas, dentro do paradigma da engenharia, relacionadas ao custo-benefício das criações humanas. **Elas reúnem agora, mais do que nunca, as complexas implicações sociais, ecológicas, e principalmente, humanas** (BAZZO et al., 2014, p. 17; grifo meu).

A partir dessa constatação, a pergunta motivadora desta tese é: como é afetada a formação do engenheiro ante tamanha evolução? Afinal,

embora alternativas de novas atividades profissionais se ampliem, a engenharia nunca perde o seu prestígio. Logo, a escolha por essa profissão, para muitos, tem o objetivo simples de garantir um emprego e também *status* social (SAPUNARU; SOUZA, 2013).

Segundo Ribeiro (2005), os principais aspectos relacionados à mudança na prática, e conseqüentemente na educação em engenharia, estão intimamente ligados à mudança de foco da economia, na expansão do campo de trabalho dos engenheiros e o acelerado ritmo empregado pelas mudanças tecnológicas (Figura 1).

Figura 1 - Aspectos que afetam a prática e a educação em engenharia segundo Ribeiro (2005).



Fonte: adaptado de Ribeiro (2005).

Tentando acompanhar essa mudança, e fazer aflorar competências transversais nos estudantes, a aprendizagem ativa tem sido recorrente na literatura nos últimos anos (POWELL; POWELL; WEENK, 2003; THOMAS, 2000). Trata-se de uma metodologia em que o estudante não é mero espectador, em que participa, vivencia, e é protagonista em sua própria trajetória epistemológica, sendo colocado diante de problemas ou projetos semelhantes àqueles encontrado no mercado de trabalho, de forma a desenvolver o tirocínio<sup>1</sup>. Uma abordagem pedagógica em que saber não é dispor de todas as respostas, saber é ser capaz de compreender

<sup>1</sup> Prática adquirida no decorrer de uma atividade e necessária ao exercício de uma profissão.

problemas, formular perguntas a respeito deles, e construir um caminho para a obtenção das respostas (GERALDI, 2010)

Diante desse aspecto, neste trabalho é proposta a análise e modelagem da aprendizagem ativa como instrumento de ensino na Engenharia Elétrica (HOSSEINZADEH; HESAMZADEH, 2012; KUMAR; FERNANDO; PANICKER, 2013; SANTANA, 2009), incluindo experimentos próprios com estudantes ao longo de seis semestres letivos. A eficácia da aprendizagem ativa vem sendo mostrada na literatura, como em Freeman et al., (2014) que por meio de um levantamento feito a partir de 225 estudos publicados e não-publicados na literatura, chegou-se à conclusão de que aulas ativas, ou seja, aquela na qual há a participação efetiva dos estudantes, são mais eficazes quando comparadas à aulas meramente expositivas.

Entretanto, a adoção da aprendizagem ativa não significa um abandono dos métodos tradicionais. Ela deve ser entendida como um acréscimo ao que já acontece em sala de aula, conforme Bazzo et al., (2014):

Tecer novos caminhos não significa abandonar o já construído. Na educação tecnológica, em especial, ele precisa ser **repensado no direcionamento das coisas humanas** (BAZZO et al., 2014, p. 17; grifo meu).

Sem desconsiderar os benefícios que já foram trazidos pelos métodos tradicionais, este trabalho busca não só desenvolver e/ou aplicar os ditos métodos de aprendizagem ativa, mas também compreender como eles influenciam os estudantes, como essas metodologias podem ou não colaborar para seu desenvolvimento cognitivo. Afinal, um ingressante na vida acadêmica possui certas intenções e compromimentos, aspirações que almeja durante o curso, que serão modificadas ao longo de sua jornada acadêmica por fatores externos, sejam essas correspondentes ao ambiente ao que foi exposto ou a interações sociais que teve. Todas essas interações podem transformar um ingressante motivado em um engenheiro preocupado com os problemas da sociedade, ou até mesmo levá-lo à evasão (LIMA JÚNIOR, 2013; TINTO, 1987).

Portanto, seguindo os conceitos da engenharia tradicionalista, baseia-se esse estudo em números, regressões, covariâncias e ações metodológicas objetivadas a trilhar o cartesiano. Todavia, acima disso tudo, este é um

trabalho sobre pessoas e suas experiências, sobre seres humanos submetidos a relações sociais transformadoras, sobre a humanização da engenharia.

Como forma de compreender o conceito de uma engenharia humanista, este aspecto será discutido ao longo deste trabalho embasado por pensadores que discorrem sobre a importância de uma educação que provoque nos estudantes competências necessárias à vivência em sociedade (DUDERSTADT, 2010; MASLOW, 1968; MORIN, 2001; NÓVOA, 2009; SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008; TORO, 1988):

[...] as aptidões e as atitudes requeridas para, adequadamente, lidar com as rápidas e, muitas vezes, inesperadas mudanças na vida contemporânea são altamente prioritárias. Haveremos de reunir esforços para o desenvolvimento de argúcias, capacidades e intenções qualificadas **com vistas a criar um clima escolar que possa ajudar a juventude a compreender, construir e dominar conceitos e valores necessários à sobrevivência integral, à harmonia e à felicidade**. A qualidade do trabalho com as variáveis da nova equação civilizatória, sem dúvida, depende dos valores, da ideologia, da epistemologia, das prioridades estabelecidas pelo conjunto de pessoas envolvidas [...] (BAZZO, 2016a, p. 86; grifo meu)

Busca-se, por meio da aprendizagem ativa, levar ao estudante além do ensino tradicional – intrínseco à formação do engenheiro – também estimular suas competências transversais, a fim de formar mais que um engenheiro, formar um cidadão. Espera-se que o estudante seja um produto gerado pela educação superior pronto para atender às demandas da sociedade.

## 1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Esta tese tem como objetivo geral validar e avaliar os elementos que constroem e fundamentam a aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica bem como as formas de promover essa aprendizagem e de medir os seus impactos.

Para formar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são percorridos ao longo do trabalho:

- **Propor uma metodologia de aprendizagem ativa** que possa ser aplicada em harmonia com os conceitos da universidade moderna e que possa ser implementada em um curso no qual os estudantes não tenham dedicação integral;
- **Modelar a característica de formação do conhecimento na aprendizagem ativa** por meio da análise estatística de um questionário quantitativo.

Deste modo esta pesquisa busca implementar e validar a aplicação da aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica e compreender, por meios estatísticos, como se dá a formação do conhecimento neste processo de ensino-aprendizagem.

## 1.2 CONTRIBUIÇÃO

A principal contribuição desta tese está na proposição de um modelo, testado estatisticamente, de como se dá a aprendizagem na Engenharia Elétrica quando intermediada por uma metodologia ativa. Tal modelo visa servir como base teórica para futuros estudos, comprovando matematicamente conhecimentos empíricos distribuídos entre publicações da literatura (MORIN, 2001; SANTANA, 2009; THOMAS, 2000).

A proposição de tal modelo foi possível mediante o estudo de caso do desenvolvimento e aplicação de uma metodologia ativa própria, baseada em projetos, com foco em cursos de período não-integral. A metodologia proposta foi testada e validada para possibilitar a modelagem da aprendizagem em seu contexto.

No intuito de testar e validar esse modelo, foi realizado um levantamento do estado-da-arte da modelagem de equações estruturais por meio de mínimos quadrados parciais (PLS-PM), propondo-se ainda uma modificação no algoritmo capaz de considerar as incertezas da condição humana.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A ideia do engenheiro não só como calculista, mas como um profissional preocupado com todos os aspectos humanos de um problema está prevista nas diretrizes curriculares do Ministério da Educação (2001) por meio do parecer CNE/CES n.º 1.362, de 12 de dezembro de 2001:

O perfil dos egressos de um curso de engenharia compreenderá uma sólida formação técnico científica e profissional geral que o capacite a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, **considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística**, em atendimento às demandas da sociedade (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2001, p. 4; grifo meu).

Nesta mesma diretriz, está prevista a integração do conhecimento adquirido pelo estudante ao longo do curso como atividade obrigatória.

Deverão existir os trabalhos de síntese e **integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso**, sendo que, pelo menos, um deles deverá se constituir em atividade obrigatória como requisito para a graduação (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2001, p. 5; grifo meu).

Aglutinando essas duas ideias – do engenheiro com formação humanista, e a integração dos conhecimentos adquiridos em sala de aula – a aprendizagem ativa pode ser utilizada como suporte aos métodos utilizados em sala de aula.

Contudo, não basta aplicar os métodos de aprendizagem ativa, torna-se necessário testá-los e validá-los, de forma a contribuir na aceitação da educação por meio de metodologias ativas como um campo baseado em evidências:

Se a educação deve ser transformada em um campo baseado em evidências, é importante não só identificar técnicas de ensino que tenham suporte experimental, mas também identificar crenças amplamente difundidas que afetam as escolhas feitas por profissionais educacionais que não possuem suporte empírico (Tradução livre<sup>2</sup> de Pashler et al., 2008, p. 117).

---

<sup>2</sup> **Texto original:** If education is to be transformed into an evidence-based field, it is important not only to identify teaching techniques that have experimental support but also to identify widely held beliefs that affect the choices made by educational practitioners that lack empirical support (PASHLER et al., 2008, p. 117).

---

Portanto, justifica-se a importância desta tese não só em modelar, mas também de validar o modelo da aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 2 se reserva à revisão bibliográfica sobre educação, filosofia e engenharia, e objetiva inicialmente definir o posicionamento teórico deste trabalho dentro do universo do ensino e aprendizagem, discorrendo também a respeito de trabalhos relacionados sobre aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica. A revisão decorrente deste capítulo serve como base para a definição das hipóteses de pesquisa.

Os métodos de processamento de dados utilizados neste trabalho são apresentados no Capítulo 3, levantando na literatura os conceitos de Análise de Componentes Principais e Modelagem de Equações Estruturais.

No Capítulo 4 é apresentado o modelo proposto de aprendizagem ativa, bem como suas características e o desenvolvimento do questionário para a avaliação do processo.

Um estudo de caso sobre o modelo de aprendizagem ativa proposto sendo aplicado na Universidade Regional de Blumenau (FURB), a caracterização das aplicações, seus pormenores e a análise estatística para avaliação do modelo proposto são apresentados no Capítulo 5.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões da tese e as sugestões para trabalhos futuros.

#### 1.5 PUBLICAÇÕES ORIUNDAS DA TESE

Durante o andamento da tese os seguintes trabalhos referentes ao tema foram publicados:

**a) Em periódicos:**

SEMAN, L. O.; HAUSMANN, R.; BEZERRA, E. A. On the students' perceptions of the knowledge formation when submitted to a Project-Based Learning environment using web applications. *Computers & Education*, v. 117, p. 16–30, fev. 2018.

SEMAN, L. O. ; HAUSMANN, R. ; BEZERRA, E. A. . Agent-based simulation of the learning dissemination on a Project-Based Learning context considering the human aspects. *IEEE Transactions on Education*, p. 1-8, 2017.

SEMAN, L. O. ; KOEHLER, L. A. ; BEZERRA, E., A. ; HAUSMANN, R. . MPPTjs: A JavaScript Simulator for PV Panels Used in a PBL Application. Energy Procedia, v. 107, p. 109–115, fev. 2017.

SEMAN, L. O.; GOMES, G. ; HAUSMANN, R. . Statistical Analysis Using PLS of a Project-Based Learning Application in Electrical Engineering. Revista IEEE América Latina, v. 14, p. 646-651, 2016.

SEMAN, L. O.; GOMES, G. ; HAUSMANN, R. . CC-CCjs: A JavaScript Web Based Application for Education on Basic Converters. Revista IEEE América Latina, v. 13, p. 2715-2722, 2015.

**b) Em Anais de eventos:**

SEMAN, L. O.; SLONGO, L. K. ; HAUSMANN, R. ; BEZERRA, E. A. . O desenvolvimento de CubeSats diante da aprendizagem ativa: um levantamento com participantes de missões brasileiras. In: XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE, 2016, Natal. 20 Anos de REENGE Caminhos da Engenharia, 2016.

SEMAN, L. O.; KOEHLER, L. A. ; BEZERRA, E. A. ; HAUSMANN, R. . Proposta e implementação da aprendizagem orientada por projetos Agile em disciplinas da engenharia elétrica na FURB. In: XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE, 2016, Natal. 20 Anos de REENGE Caminhos da Engenharia, 2016.<sup>3</sup>

SEMAN, L. O.; BEZERRA, E. A. . CubeSat missions as learning tools: the influence on students. In: IAA-LACW, 2016, Florianópolis. II IAA Latin America Cubesat Workshop, 2016.

SEMAN, L. O.; GOMES, G. ; HAUSMANN, R. . Ambiente virtual de gestão para aprendizagem orientada por projetos. In: XLIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE, 2015, ABC Paulista. Aprendizagem Ativa: Engenheiros colaborativos para um mundo competitivo, 2015.

---

<sup>3</sup> Trabalho premiado com o 2º lugar na categoria Sessão Pôster.



## FALANDO SOBRE A INTRODUÇÃO

*O mundo vem mudando em uma velocidade nunca vista antes, por isso a atualização constante se torna ainda mais necessária.*

*A aprendizagem ativa tem se mostrado como um bom complemento ao método tradicional de ensino.*

*A proposição de um modelo estatístico da formação do conhecimento visa validar conhecimentos empíricos.*

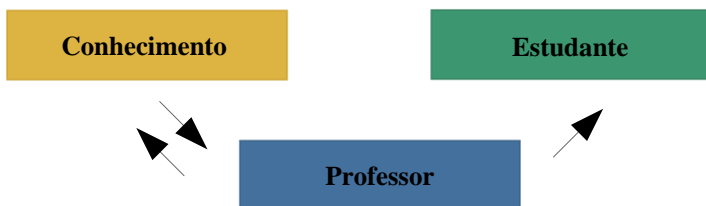
Este capítulo apresenta a trajetória epistemológica e a revisão de literatura sobre educação, filosofia e engenharia, partindo-se primeiramente de conceitos mais gerais, contextualizando o assunto na visão de pensadores já tradicionais na cultura da educação e introduzindo o posicionamento teórico deste estudo para apresentar as hipóteses de pesquisa.

Um dos conceitos iniciais que necessita ser apresentado é o conceito de interestruturação, que move os esforços empregados em direção a aprendizagem ativa. Not (1981) define que existem três modelos de sistemas pedagógicos que descrevem a forma como um aprendiz apreende o conhecimento e o papel do professor nesse processo: heteroestruturação; autoestruturação; e interestruturação (SANTANA, 2009; SEMAN, 2015), uma relação triádica:

A relação é triádica: o professor, o aluno e os conhecimentos. Cada proposta pedagógica, na histórica ou no presente, define diferentes posições para cada um destes três elementos, dando ênfase ora a um, ora a outro destes três polos (GERALDI, 2010, p. 82).

**Heteroestruturação:** Compreende a maioria dos métodos tradicionais de ensino, aqui o professor possui o conhecimento e o processo de ensino é encarado como uma ação de transferência unilateral do professor para o aprendiz. O estudante não possui contato direto com o conhecimento, precisando ter o professor como intermediário (Figura 2).

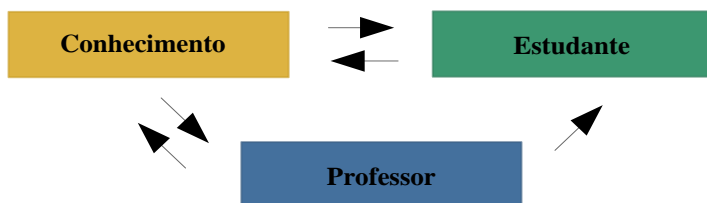
Figura 2 - Relação professor/estudante: heteroestruturação.



Fonte: o autor baseado em Not (1981).

**Autoestruturação:** Compreende os métodos livres, as pedagogias não diretivas, nos quais a motivação é o foco principal. O conhecimento é adquirido pelo aprendiz por meio de ação direta (Figura 3). Aqui o papel do professor é de motivar o aprendiz, que age sobre o conhecimento segundo seu interesse e ritmo. Caso o estudante não consiga aprender é porque não teve interesse ou porque o professor não conseguiu despertá-lo.

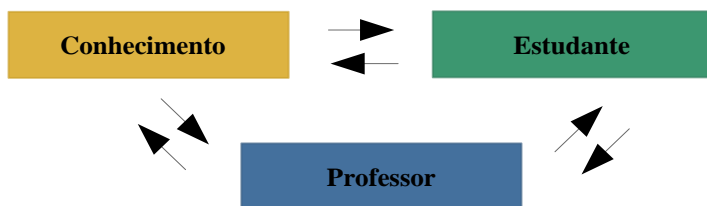
Figura 3 - Relação professor/estudante: autoestruturação.



Fonte: o autor baseado em Not (1981).

**Interestruturação:** Compreende as linhas pedagógicas de princípio cognitivista<sup>4</sup> (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; BRUNER, 1990; KOFFKA, 2013; PIAGET, 2013; VYGOTSKI, 1994). Aqui o papel do professor é o de orientador no processo de ensino-aprendizagem para o estudante (Figura 4). O estudante ocupa uma posição privilegiada, e a aprendizagem ocorrerá segundo sua capacidade cognitiva, que se altera com o conhecimento crescente construído. Cabe ao professor o papel de estimular a interação estudante/conhecimento.

Figura 4 - Relação professor/estudante: interestruturação.



Fonte: o autor baseado em Not (1981).

Mas para onde essa interestruturação caminha? É possível inferir que ela caminha para uma universidade mais atual, mais conectada, que

<sup>4</sup> Este conceito é discutido no subcapítulo 2.1.

coloca o estudante como figura central no processo educacional. Porém, mesmo necessitando de atualizações, a instituição universitária como é conhecida hoje não é tão antiga.

Segundo Pereira (2009), a chamada “universidade moderna” teve sua origem na organização da Universidade de Berlim, no ano de 1808, e tem em Humboldt (1997) uma reflexão sobre esta formação. Deste modo a universidade moderna se estruturou de forma diferente do que se entendia por universidades até aquele momento, surgindo em uma época em que a ciência já se evidenciava como aspecto estruturante do mundo moderno, e a ditadura epistemológica imposta pela igreja perdia sua força.

Os principais postulados de Humboldt para a estruturação da universidade são: formação por meio da pesquisa, a unidade entre o ensino e a pesquisa, a interdisciplinaridade, a autonomia e a liberdade da administração da instituição e da ciência produzida, a relação integrada (ainda que autônoma) entre estado e universidade e ainda o ensino médio e o superior como complementos (PEREIRA, 2009).

Busca-se até hoje seguir os conceitos da universidade moderna constituída por conhecimentos desenvolvidos por diferentes pessoas, em diferentes momentos, juntos, a fim de se formar um engenheiro competente e um cidadão consciente, afinal, como já constatou Ridley (2010):

Nenhuma pessoa sozinha sabe como fazer um mouse de computador. A pessoa que o montou na fábrica não sabia como cavar o poço de petróleo de onde derivou o plástico, ou vice-versa. Em algum ponto, a inteligência humana tornou-se coletiva e cumulativa de uma forma que não aconteceu com nenhum outro animal (RIDLEY, 2010, local 133-137<sup>5</sup>).

Ou ainda, nas palavras de Hayek (1945) apud Ridley (2010, local 683-685):

O conhecimento nunca existe de forma concentrada ou integrada, mas apenas em pedaços dispersos de conhecimento incompleto, e frequentemente, contraditória que todos os indivíduos possuem separadamente (HAYEK, 1945 apud RIDLEY, 2010, local 683-585).

---

<sup>5</sup> O uso de local ao invés de página na citação direta diz ao respeito a localização no formato digital proprietário da Amazon, indicando que o livro foi consultado no leitor de livros digitais Kindle.

Por fim, ainda dentro da universidade moderna, enfrentam-se desafios e dilemas referentes à educação em engenharia: o desafio sociológico, o epistemológico e o pedagógico (VALLIM, 2008). Definem-se os desafios que motivam este capítulo:

- **Desafio sociológico:** não reduzir a formação a um processo de formatação de pessoas à demanda mercadológica;
- **Desafio epistemológico:** construir modelos de educação articulados que permitam ao estudante desenvolver suas potencialidades e competências transversais;
- **Desafio pedagógico:** não simplificar o processo educacional a simples e pura transmissão de conhecimento e/ou treinamento de habilidades, aglutinar isso a ação reflexiva.

## 2.1 EDUCAÇÃO CONTEMPORÂNEA

Em um trabalho que trata também sobre o aspecto educacional, é importante contextualizar alguns dos principais pensadores sobre o tema para que se possa compreender a direção do processo educacional e as influências sofridas no processo.

Os pensadores da educação contemporânea podem ser divididos em dois grandes grupos, os que tem suas teorias em uma base comportamentalista e aqueles de teoria com base cognitivista (WALTER et al. 2012).

As teorias de abordagem comportamentalistas analisam o processo de aprendizagem desconsiderando os aspectos internos que ocorrem na mente do estudante, focando na conduta observável. Já as teorias cognitivistas vieram como contraponto ao comportamentalismo, ao propor a análise dos processos de aprendizagem no âmbito de cada indivíduo em sua complexidade biologia, social, psicológica, etc. Ela procura entender como o homem desenvolve seu conhecimento acerca do mundo, de forma geral se preocupa com os aspectos da compreensão, transformação, armazenamento e utilização das informações. O Quadro 1 apresenta a diferença entre esses dois grupos teóricos.

Quadro 1 - Teorias comportamentalistas x cognitivistas.

	<b>Comportamentalistas</b>	<b>Cognitivistas</b>
Representantes	Pavlov, Skinner, Thordnike, Tolman, Watson	Ausubel, Bruner, Piaget, Vygostky Teóricos da Gestalt

Objeto de Estudo	Conduta observável	Representações mentais
Características do estudantes	- É objeto onde os dados da realidade são impressos; - É passivo.	- Possui estruturas prévias que o ajudam no conhecimento; - É ativo.
Conhecimento	O conhecimento é uma cópia da realidade.	O sujeito constrói seu próprio conhecimento.
Protagonismo	O ambiente é o protagonista.	O estudante é o protagonista.
Relação epistemológica	Objeto → Sujeito	Objeto ← Sujeito

Fonte: adaptado de Walter et al. (2012).

Os pensadores de teoria cognitivista, conforme apresentado no Quadro 1 possuem ideias consideradas mais próximas ao ideal deste trabalho, colocando o estudante como peça central na relação de ensino-aprendizagem.

Para melhor compreender esses pensadores (Ausebel, Bruner, Gestalt, Piaget, Vygostky), o Quadro 2 nomeia a teoria de cada pensador, o Quadro 3 apresenta o papel do estudante em cada teoria, o Quadro 4 o papel do docente, o Quadro 5 e o Quadro 6 apresentam respectivamente como é dita a formação da aprendizagem e da inteligência em cada linha de pensamento e, por fim, o Quadro 7 apresenta como é feita a avaliação do processo educacional.

Quadro 2 - Cognitivistas: teorias.

<b>Pensador</b>	<b>Teoria</b>
Ausubel <sup>6</sup>	Aprendizagem significativa
Bruner <sup>7</sup>	Cognitiva
Piaget <sup>8</sup>	Construtivismo
Vygostky <sup>9</sup>	Sociocultural
Teóricos da Gestalt <sup>10</sup>	Reestruturação perceptual

Fonte: adaptado de Penedo (2015).

<sup>6</sup> Ausubel, Novak e Hanesian (1980)

<sup>7</sup> Bruner (1990)

<sup>8</sup> Piaget (2013)

<sup>9</sup> Vygotski (1994)

<sup>10</sup> Koffka (2013)

Quadro 3 - Cognitivistas: aprendiz.

<b>Pensador</b>	<b>Aprendiz</b>
Ausubel	Possui um conjunto de conceitos, ideias e saberes prévios que são próprios do meio em que se desenvolve.
Bruner	Insero em uma cultura e influenciado principalmente pela linguagem.
Piaget	Está em constante adaptação.
Vygostky	Não isolado, reconstrói o conhecimento no plano interindividual.
Teóricos da Gestalt	É motivado por situações problemáticas.

Fonte: adaptado de Penedo (2015).

Quadro 4 - Cognitivistas: docente.

<b>Pensador</b>	<b>Docente</b>
Ausubel	Instrutor dos saberes significativos, que investiga sobre os saberes prévios e as motivações dos estudantes.
Bruner	Instrutor, elabora estratégias que permitem ao estudantes desenvolver competências por si mesmos.
Piaget	Facilitador da aprendizagem, estimula os estudantes a fortalecerem a aprendizagem.
Vygostky	Mediador, serve como guia dos saberes socioculturais.
Teóricos da Gestalt	Orientador de comportamento que motiva a resolver situações problemáticas.

Fonte: adaptado de Penedo (2015).

Quadro 5 - Cognitivistas: aprendizagem.

<b>Pensador</b>	<b>Aprendizagem</b>
Ausubel	Tem lugar quando as pessoas interagem com o ambiente dando sentido ao mundo que percebem.
Bruner	Se dá com os processos de socialização.
Piaget	Construção constante de novos conhecimentos a partir dos já adquiridos anteriormente.
Vygostky	É dada com relacionamentos socioculturais e interpessoais.
Teóricos da Gestalt	Por meio de uma compreensão brusca, um <i>insight</i> .

Fonte: adaptado de Penedo (2015).

Quadro 6 - Cognitivistas: inteligência.

<b>Pensador</b>	<b>Inteligência</b>
Ausubel	Possibilidade de construir conhecimento e aptidões a partir de conhecimento prévios.
Bruner	Diferencia três formas de conhecer: execução, impressão ou imagem e significado simbólico.
Piaget	Se desenvolve em etapas definidas e segue uma estrutura que constantemente incorpora novos conhecimentos como elementos construtivos.
Vygostky	Se dá como uma socialização do sujeito com o meio.
Teóricos da Gestalt	Se baseia na percepção, que por sua vez constitui uma estrutura dinâmica.

Fonte: adaptado de Penedo (2015).

Quadro 7 - Cognitivistas: avaliação.

<b>Pensador</b>	<b>Avaliação</b>
Ausubel	Incide nas mudanças sobre a noções significativas dos estudantes.
Bruner	Se interessa pelos processos cognitivos e pelas mudanças geradas por eles.
Piaget	Avalia o processo a partir dos resultados.
Vygostky	Se interessa por processos e produtos, o nível de desenvolvimento da competência cognitiva.
Teóricos da Gestalt	Ênfase na avaliação final, na solução do problema.

Fonte: adaptado de Penedo (2015).

Dentre os pensadores apresentados dois são prioritariamente considerados no decorrer deste trabalho por terem em suas teorias conceitos particularmente semelhantes aos que se objetivam com a utilização da aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica.

A primeira perspectiva se dá em Ausubel et al. (1980) referente à sua teoria da aprendizagem significativa. Para ele, a aprendizagem só ocorre se for significativa e se ancorar a conceitos já estabelecidos nos estudantes. O que pode se tornar problemático se os conceitos previamente existentes nos estudantes tiverem sido criados e desenvolvidos de forma equivocada. Isto implica que mesmo uma aula bem dada, não é sinônimo de sucesso no nível de aprendizagem, pois não é possível assegurar que ancoragens anteriores tenham sido corretamente estabelecidas (VIEIRA JUNIOR, 2012).



A solução sugerida surge com o nome de “reaprendizagem significativa”, que por meio de um processo gradual, novas edificações cognitivas são construídas de modo a sobrepor os conceitos errados. Contudo, este processo se torna complexo ao passo que em algum momento exigirá a interação individualizada para que cada estudante possa abandonar suas crenças erradas, regredindo até um momento considerado isento de influências cognitivas erradas e evoluir novamente (MOREIRA, 1999).

Por meio dessas constatações, pode-se inferir que são necessários métodos complementares para dar conta do processo de ensino-aprendizagem considerado “ideal”, e que mesmo uma aula, por melhor que seja ministrada, não pode suprir todas as lacunas desse processo.

Uma segunda perspectiva teórica de aprendizagem também serve de forte inspiração para os preceitos deste trabalho, a aprendizagem sociocultural de Vygotsky (1994). Embora grande parte de sua pesquisa seja feita em crianças, seus conceitos podem ser importados para a educação superior. Um dos seus conceitos mais difundidos é o da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) que consiste na distância entre o nível de resolução de uma tarefa de forma independente e o nível que o estudante pode atingir pela mediação de um outro indivíduo do grupo.

Esse conceito se torna importante em projetos de aprendizagem ativa colaborativa, incitando os estudantes a aprenderem ao trabalharem em conjunto, gerando o que Vygotsky (1994) chamava de o “bom aprendizado”:

[...] o “bom aprendizado” é somente aquele que se adianta ao desenvolvimento (VYGOTSKI, 1994, p. 60).

As duas perspectivas teóricas que tiveram suas características ampliadas identificam a construção da metodologia que será discutida neste trabalho como estudo de caso, objetivando um processo de aprendizado que seja significativo ao estudante, ancorando nele informações que poderão ser acessadas no decorrer de sua vida. Buscando-se firmar essa aprendizagem também por meio da cooperação, inserindo o estudante em um meio social e cultural em que será capaz de trocar informações e alavancar suas habilidades cognitivas por meio da interação com seus colegas.

## 2.2 IGUAIS NAS DIFERENÇAS

No final do século XIX o médico francês Alfred Binet desenvolveu um teste objetivando diferenciar os estudantes considerados ineducáveis dos outros. O teste desenvolvido por Binet consistia em itens que avaliavam a compreensão individual, e o seu relativo sucesso em conseguir diferenciar os estudantes levou a um questionamento maior sobre o que exatamente é a inteligência (NEISSER et al., 1996).

Para Spearman todas as inteligências derivam de um fator geral, intitulado de fator “g”. Após utilizar análise fatorial<sup>11</sup> para examinar aptidões mentais, Spearman concluiu que pessoas que se saiam bem em um teste cognitivo, tendiam a se sair bem em testes similares, enquanto a recíproca também era verdadeira. Concluindo que inteligência é uma habilidade cognitiva geral que poderia ser mensurada matematicamente (SPEARMAN, 1904).

Contudo, o desenvolvimento constante do estudo das inteligências tende a refutar a ideia de Spearman de um coeficiente único. Em meados do século XX o engenheiro Louis Leon Thurstone, que se opunha a noção de uma única e singular inteligência, também utilizou análise fatorial para formular um modelo de inteligência centrado ao redor do que ele caracterizou como “Habilidades Mentais Primárias”, sete grupos independentes de inteligência que os indivíduos possuíam em diferentes graus de magnitude (THURSTONE, 1954):

- A fluidez verbal;
- A compressão verbal;
- Aptidão especial;
- A rapidez perceptiva;
- Raciocínio indutivo;
- Atitude numérica e memória.

Defendendo que o padrão de inteligência não é só aquele representado por notas em provas ou capacidade de efetuar contas complexas, o psicólogo Howard Gardner juntamente com uma equipe de pesquisadores de Harvard propôs a teoria das múltiplas inteligências, afirmando que o conceito tradicional definido em testes de QI (psicometria) não é suficiente para descrever a grande variedade das habilidades cognitivas dos seres humanos (GARDNER, 2006). As inteligências múltiplas (Figura 5) são apresentadas no Quadro 8.

---

<sup>11</sup> A análise fatorial é discutida no Capítulo 3.

Quadro 8 - Descrição das inteligências múltiplas de Gardner.

<b>Estilos</b>	<b>Descrição</b>
Lógico-matemática	Durante muito tempo foi considerada a inteligência padrão, o método prático de considerar se alguém era mais inteligente que outrem. É um tipo de inteligência ligada à capacidade de raciocínio lógico/dedutivo e resolução de problemas matemáticos.
Linguística	Se refere não só a capacidade de comunicação oral, mas também a comunicação escrita, gestual, etc. Pode-se considerar o tipo de inteligência predominante em poetas, escritores, linguistas, etc.
Musical	Compositores, maestros, músicos e pessoas com ouvido absoluto são alguns dos exemplos de pessoas com este tipo de inteligência mais desenvolvido. Atitude como tirar músicas de ouvido e discernimento de timbre podem ser incluídos neste tipo de inteligência.
Espacial	É a habilidade de pensar em três dimensões, compreender o mundo visual com precisão. Arquitetos, escultores e cartógrafos podem ser incluídos nessa classificação.
Corporal-sinestésica	É expressa na capacidade de controlar e orquestrar movimentos do corpo, por exemplo, a capacidade de utilizar ferramentas é considerada como uma inteligência sinestésica corporal. Predominante em dançarinos, coreógrafos, jogadores de futebol.
Intrapessoal	Se refere a inteligência que caracterizada no autoconhecimento, a capacidade de compreensão e autocontrole. É dita como a mais rara das inteligências pois está ligada a capacidade de neutralizar vícios, inibir causadores de estresse, entre outros.
Interpessoal	É a capacidade de entender intenções e motivações de outros. O desenvolvimento desta inteligência está inclusive relacionado a aprimorar a capacidade de empatia e pode ser encontrada com mais destaque em políticos, religiosos ou professores.
Naturalista	Pode ser traduzida na sensibilidade para compreender e classificar questões ligadas a natureza, como conhecer e classificar plantas e/ou animais. É característica em biólogos e geólogos, por exemplo.
Existencial	É a sensibilidade e a capacidade de abordar questões referentes a existências humana, o porquê do ser humano ter chego até aqui.

Fonte: adaptado de Gardner (2006).

Figura 5 - As múltiplas inteligências de Gardner.



Fonte: Almeida (2015)<sup>12</sup>.

Gardner (2006) afirma que todas as pessoas possuem todos os oito tipos de inteligência, no entanto, cada um dos tipos é desenvolvido em maior grau em algumas pessoas do que em outras.

Acreditando que as teorias presentes na literatura estavam incompletas, Sternberg propôs o que chamou de “Teoria Triárquica de Inteligência”. Nesta teoria Sternberg prega que a inteligência se relaciona com três aspectos: o mundo interior do sujeito, o mundo exterior, e a experiência, podendo ser dividida em três componentes principais (STERNBERG, 1984):

<sup>12</sup> <https://medium.com/@almeidamarcell/inteligências-múltiplas-você-não-é-tão-burro-quanto-pensa-fdb143e09fa7>

- **Inteligência analítica:** refere-se à capacidade de resolver problemas;
- **Inteligência criativa:** refere-se à capacidade de lidar com novas situações utilizando experiências passadas e habilidades atuais.
- **Inteligência prática:** refere-se à habilidade de se adaptar às mudanças.

É posto que autores diferentes consideraram inteligências diferentes, nesse contexto Neisser et al. (1996) afirmam que por existir muitas maneiras de ser inteligente, existem também muitas conceituações de inteligência:

Os indivíduos diferem uns dos outros em sua capacidade de compreender ideias complexas, em se adaptar de forma eficaz para o ambiente, em aprender com a experiência, para se envolver em várias formas de raciocínio, em superar os obstáculos. (Tradução livre<sup>13</sup> de Neisser et al., 1996, p. 1).

A inteligência pode assumir vários aspectos, e não há, até o momento, unanimidade em sua definição. Contudo, já existe tendência acadêmica a acreditar (GARDNER, 2006; NEISSER et al., 1996; STERNBERG, 1984; THURSTONE, 1954) que pessoas diferentes desenvolvem aspectos diferentes de suas inteligências – modificando sua forma de interagir com o mundo ao seu redor – que devem ser identificadas e enaltecidas.

### 2.2.1 Diferentes motivações

Durante o desenvolvimento deste trabalho, em conversas com vários professores de diferentes universidades, um termo insistiu em aparecer: motivação. Diante da atual geração de estudantes que cresceu cercada por tecnologia, com fácil acesso à informação, ingressando na educação superior, vários professores deram seu parecer de se sentirem cada vez mais distantes de seus estudantes. E a dúvida é recorrente, como motivar esse “novo” estudante?

Discorrer sobre motivação em uma tese de Engenharia Elétrica pode parecer muito subjetivo. Contudo, essas pequenas preocupações, por

---

<sup>13</sup>**Texto original:** Individuals differ from one another in their ability to understand complex ideas, to adapt effectively to the environment, to learn from experience, to engage in various forms of reasoning, to overcome obstacles by taking thought.

vezes deixadas de lado por não serem consideradas usuais às linhas de pesquisa, podem ser fatores determinísticos no aprendizado de um estudante.

Dentre as teorias atuais de motivação talvez a mais aceita seja a teoria da autodeterminação de Deci e Ryan (1985), a qual será utilizada para fins de contextualização.

Para Ryan e Deci (2000) estar motivado significa ser movido a fazer algo, desse modo, uma pessoa que não sente ímpeto ou inspiração a agir é caracterizada como desmotivada, enquanto uma pessoa energizada ou ativada com um objetivo final é considerada motivada.

A motivação ainda pode ser considerada como um fenômeno não unitário, que possui não só um nível de intensidade como também uma orientação. Por exemplo, um estudante pode se motivar a fazer um trabalho tanto por curiosidade e interesse, ou por querer a aprovação dos seus pais ou professores (RYAN; DECI, 2000).

Na teoria da autodeterminação a mais básica classificação consiste em diferenciar a **motivação intrínseca**, que consiste em executar alguma coisa por interesse inerente ou por ser agradável, da **motivação extrínseca**, que consiste em fazer algo por levar a outros resultados.

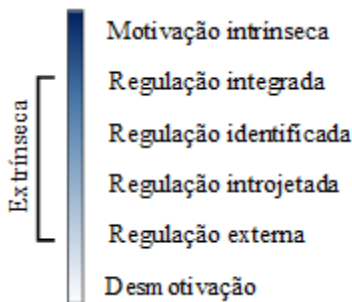
A motivação intrínseca é considerada mais propícia para a formação do conhecimento, resultando em um aprendizado de mais alta qualidade e criatividade. Contudo, a maior parte das atividades que as pessoas realizam não são motivadas intrinsecamente, principalmente depois da primeira infância, em que a motivação costuma ser cerceada pelas demandas sociais e por papéis que requerem que o indivíduo assuma responsabilidades por tarefas que não o interessam, resultando na motivação extrínseca (RYAN; DECI, 2000).

Sendo a maior parte das motivações consideradas extrínsecas, a teoria da autodeterminação ainda define que ela pode se dividir em níveis de autonomia. Cita-se o exemplo de um estudante que faça seu dever de casa motivado a não sofrer sanções, ou um estudante que faça seu dever de casa pois acredita que ele é valioso para sua carreira de escolha mesmo que não o ache tão interessante. Os dois exemplos envolvem externalidades, embora o primeiro tenha conexão com crescimento pessoal e traga um sentimento de escolha, enquanto o segundo apenas envolve conformidade com o controle externo (RYAN; DECI, 2000).

Considerando os vários tipos de motivações extrínsecas que podem ocorrer, Ryan e Deci (1985) propõe um *continuum* da motivação, que descreve o alcance que a motivação pode ter, variando desde a desmoti-

vação, passando pela conformidade com a situação apresentada, e chegando até o comprometimento pessoal, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 - *Continuum* de motivação de Deci e Ryan.



Fonte: o autor com base em Ryan e Deci (2000).

Cada uma das motivações extrínsecas pode ser definida como:

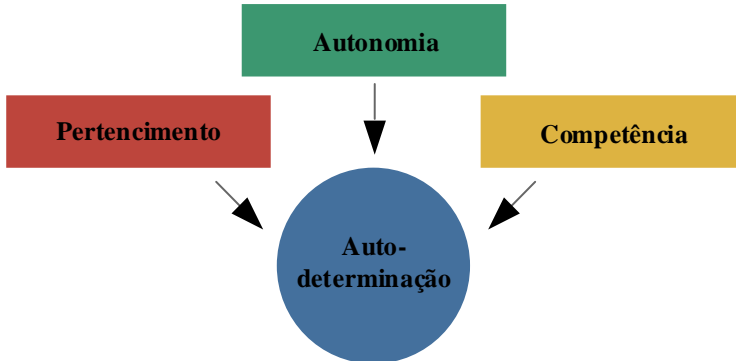
- **Regulação externa:** considerada a forma menos autônoma de motivação, são comportamentos realizados para satisfazer demandas externas;
- **Regulação introjetada:** é um tipo de regulação interna, que de alguma forma é controlada pelas convenções sociais em busca de evitar culpa ou ansiedade, ou mesmo na busca de recompensas;
- **Regulação identificada:** considerada uma forma mais autônoma de motivação extrínseca em que a pessoa se identifica com a incompetência pessoal de um comportamento e aceita sua regulação como sendo sua própria;
- **Regulação integrada:** a forma mais autônoma de motivação extrínseca, ocorre quando as regulações identificadas são totalmente assimiladas no ser, ou seja, quando uma regulação identificada é integrada aos valores do ser.

Quanto mais internalizada for a motivação, mais próxima da motivação intrínseca ela se torna, conseqüentemente se distanciando ainda mais da desmotivação, conforme apresentado no Quadro 9.

Além disso, a teoria de Deci e Ryan ainda aponta os fatores que podem nutrir a autodeterminação, conforme apresentado na Figura 7. O primeiro fator refere-se a **autonomia** – mesmo que os autores afirmem ser quase inimaginável agir de modo totalmente independente de influências externas – ocorre quando o sujeito não age apenas de forma passiva,

mas compreendendo a utilidade de um comportamento ou atitude (TOLEDO, 2015).

Figura 7 - Necessidades inatas da autodeterminação.



Fonte: adaptado de Deci e Ryan (2000).

Outro fator considerado passível de nutrir a autodeterminação é quando o sujeito percebe que realiza uma atividade eficientemente, despertando sua **competência** e o instigando a continuar. Por fim, é necessário que além de autonomia e competência o sujeito também perceba sua integração em um contexto, o que por sua vez desperta a sensação de **pertencimento** (TOLEDO, 2015).



Quadro 9 - A taxonomia da motivação humana.

Estilo Regulatório	Desmotivado	Motivação extrínseca				Motivação intrínseca
		Regulação externa	Regulação introyetada	Regulação identificada	Regulação integrada	
<b>Processos associados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Percebida não-contingência;</li> <li>- Baixa percepção de competência;</li> <li>- Não relevância;</li> <li>- Não intencionalidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relevância das recompensas extrínsecas ou punições</li> <li>- Cumprimento / reatância</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Envolvimento do ego</li> <li>- Focar a aprovação própria ou de outros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valorização consciente da atividade</li> <li>- Auto aprovação de metas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Síntese hierárquica da meta</li> <li>- Congruência</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interesse</li> <li>- Aproveitamento</li> <li>- Satisfação inerente</li> </ul>
<b>Lócus percebido da causalidade</b>	Impessoal	Externo	De alguma forma externo	De alguma forma interno	Interno	Interno

Fonte: Ryan e Deci (2000).

## 2.3 HUMANIZAÇÃO DO ENSINO

Bazzo (2015 e 2016)<sup>14</sup> defende a existência de uma equação civilizatória, relacionada às suas preocupações a respeito da integração do engenheiro na sociedade, fazer o estudante compreender que a engenharia não é feita só de números, mas dos impactos que suas ações como profissional tem ao mundo. Nesta tese, trabalha-se com esta noção, que doravante será chamada de “a humanização da engenharia”.

Mas o que exatamente é humanizar a engenharia? Afinal, humanizar pode ser um termo muito amplo, para compreender este conceito, o caminho contrário é sugerido, entender o que é a não humanização da engenharia: a formação em ciências exatas desenvolve o raciocínio lógico, aquele raciocínio clássico, cartesiano, capaz de resolver problemas padronizados de uma forma rápida e eficaz. Contudo, a preocupação é que o desenvolvimento puro do raciocínio cartesiano possa desconectar o futuro engenheiro do uso de suas emoções para resolver problemas, compreende-se que essas emoções sejam responsáveis por estimular a criatividade, o trabalho em equipe, o “pensamento fora da caixa”.

Sheppard, Pellegrino e Olds (2008) afirmam ser ingenuidade tratar as oportunidades e desafios técnicos e não-técnicos com distinção. Ambos os aspectos são intrinsicamente conectados já que os limites entre a natureza autônoma das coisas e os processos criados por seres humanos tem se confundido.

Dessa forma, profissionais com educação superior – entre eles os engenheiros – com desenvolvido senso técnico e de responsabilidade social, estariam entre os mais capacitados profissionais para lidar com a complexidade apresentadas por essa nova realidade que assimila tantos os aspectos técnicos como os não-técnicos em prol do crescimento científico e social. Cabe assim uma melhor compreensão dos estudantes, incluindo suas motivações e perspectivas, de forma a poder estimulá-los a se tornarem engenheiros prontos para lidar com princípios, métodos e valores necessários para a mudança da prática em engenharia e, conseqüentemente, do meio em que estão inseridos (SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008).

Feitas essas considerações, no restante desse subcapítulo são revisados pensadores que discorrem sobre a importância de uma educação consciente das características humanas.

---

<sup>14</sup> Divulgação feita principalmente nas “mensagens do coordenador” na página<sup>14</sup> do NEPET (Núcleo de Estudos e Pesquisa em Educação Tecnológica) - <http://www.nepet.ufsc.br/>

### 2.3.1 Os sete saberes necessários à educação

No ano de 1999, por iniciativa da UNESCO, o pensador Edgar Morin<sup>15</sup> foi convidado a sistematizar reflexões para que a educação do próximo milênio fosse repensada. O texto escrito por ele circulou entre educadores do mundo, que fizeram sugestões e comentários e acabou sendo publicado em 2000 em uma obra conhecida como “Os sete saberes necessários à Educação do Futuro” (MORIN, 2001). De forma geral, os sete saberes trazidos pelo livro são:

1. As cegueiras do conhecimento: o erro e a ilusão: todo conhecimento comporta o risco do erro e da ilusão. A educação deve preparar o estudante para a compreensão de que todo conhecimento é falível, preparando o indivíduo para enfrentar as situações da vida com discernimento.
2. Os princípios do conhecimento pertinente: para que o conhecimento seja considerado pertinente, a educação deve tomar um âmbito global que contextualize os acontecimentos do mundo.
3. Ensinar a condição humana: para Morin (2001), conhecer o ser humano é situá-lo no universo, ou seja, é necessário reconhecer a própria condição humana, ou seja, compreender onde o ser humano se encaixa no plano das coisas.
4. Ensinar a identidade terrena no século 21: é preciso compreender como as pequenas ações podem influenciar eventos maiores, ensinar a questão da sustentabilidade. Mostrar aos estudantes como pequenas atitudes refletem na totalidade e no destino comum.
5. Enfrentar as incertezas ligadas ao conhecimento: a importância de saber lidar com as incertezas e os imprevistos é primordial. O ser humano vive envolto na ideia da ciência cartesiana de que tudo o que for científico pertence ao reino da certeza, mas é preciso compreender a fraqueza humana ante o conhecimento e preparar os estudantes para que sejam capazes de enfrentar os desafios inesperados.
6. Ensinar a compreensão: nem sempre comunicação é sinônimo de compreensão. Na educação atual a compreensão é um obstáculo ainda a ser transposto, seja de estudantes com professores, professores com departamentos, departamentos com a reitoria. É preciso parar, refletir, e se fazer compreender.

---

<sup>15</sup> Filósofo e sociólogo francês.

7. A ética do gênero humano: a ética é necessária para guiar a um caráter humanizado. É necessário ter a consciência dos atos praticados para refletir nos outros, e em si mesmos, a coerência dos atos praticados.

O trabalho de Morin (2001) vem reforçar a ideia apresentada neste trabalho de que não basta ensinar a calcular, é necessário ensinar princípios humanos. Em um mundo cada vez mais populoso, desenvolver seres humanos conscientes, éticos, e prontos para lidarem com as incertezas do caminho.

Afinal, de que serviriam todos os saberes parciais senão para formar uma configuração que responda a nossas expectativas, nossos desejos, nossas interrogações cognitivas? (MORIN, 2003, p. 116).

### 2.3.2 Pirâmide de Maslow

Outro estudo que recebeu relativo destaque em sua época, e repercute até hoje, é o de Maslow<sup>16</sup> (1968) diante de seu parecer sobre as necessidades humanas. Segundo ele o homem é motivado segundo suas necessidades que se manifestam em graus de importância. Cada necessidade influencia na motivação para a próxima, o que gera uma pirâmide hierárquica, conforme Figura 8.

- **Fisiológicas**: as necessidades fisiológicas se encontram na base da pirâmide e dizem respeito a aspectos relacionados ao organismo como alimentação, sono, abrigo, etc.
- **Segurança**: aparecem após os suprimentos das necessidades fisiológicas e são representadas por aspectos como a estabilidade, autoproteção, saúde, finanças, etc.
- **Sociais**: são relacionados aos aspectos sociais como amizade, aceitação em grupos, etc.
- **Status**: são necessidades de estima, autoconfiança, reconhecimento, ser respeitado, etc.
- **Autorrealização**: por fim, no topo da pirâmide, estariam a moralidade, a criatividade, o autodesenvolvimento, etc.

---

<sup>16</sup> Abraham Maslow, psicólogo americano.

Figura 8 - Hierarquia das necessidades.



Fonte: adaptado de Maslow (1968).

A pirâmide de Maslow (1968) não é uma unanimidade, e a ordem dos fatores pode ser alterada de cultura para cultura. Porém, o que chama atenção, e no contexto desta tese considera-se pertinente, são esses suprimidos das necessidades básicas que devem acontecer a fim de angariar motivação para uma próxima etapa.

Isso está intimamente ligado ao aspecto de humanização do ensino de engenharia, em que não se pode inferir conhecimento em um estudante que não tenha consolidada as bases de sua pirâmide. O estudante, como humano, tem uma vida fora dos limites da IES, e ocorrências prejudiciais à base da sua pirâmide dificultarão a sua aprendizagem. Isso pode remeter até o conceito já discutido de Ausebel et al. (1980), podendo uma pirâmide mal estabelecida ancorar significâncias erradas.

### 2.3.3 Os Códigos de Modernidade

Bernardo Toro<sup>17</sup> define os Códigos da Modernidade como capacidades e competências requeridas para o que ele considera a participação produtiva no século XXI (TORO, 1988). Os códigos apresentados por Toro também fazem parte da linha de pensamento que consideram que os conhecimentos considerados “técnicos” devem ser apresentados de forma conjunta com os conhecimentos considerados “humanos” para que se possa ter uma modelo de ensino acima de tudo social:

---

<sup>17</sup> Filósofo e educador colombiano.

1. Domínio da leitura e da escrita: a boa leitura é considerada aquela na qual se consegue extrair e absorver o máximo de informações possíveis sobre o objetivo de leitura. É necessário buscar ideias além das escritas, compreender e interpretar o que for lido;
2. Capacidade de fazer cálculos e de resolver problemas: é necessário ser capaz de calcular e resolver problemas complexos, o desenvolvimento do raciocínio lógico-matemático, saber interpretar os dados de um problema;
3. Capacidade de analisar, sintetizar e interpretar dados, fatos e situações: é necessário saber descrever, analisar e comparar para que se possa expor o próprio pensamento a respeito de um assunto;
4. Capacidade de compreender e atuar em seu entorno social: para se construir uma sociedade democrática é necessário transmitir aos estudantes informações que permitam que eles atuem como cidadãos, para que eles compreendam os paradigmas da sociedade e da humanidade;
5. Receber criticamente os meios de comunicação: é necessário atuar na formação do pensamento crítico para que o estudante saiba avaliar as informações que recebe pelos meios de comunicações presentes na sociedade atual;
6. Capacidade para localizar, acessar e usar melhor a informação acumulada: é necessário saber descrever, sistematizar e difundir conhecimentos;
7. Capacidade de planejar, trabalhar e decidir em grupo: é necessário poder associar-se e trabalhar em equipe, poder planejar e decidir de forma coletiva.

Pode-se perceber que Toro (1988) busca a conciliação do cartesiano com o humano, acreditando que os dois aspectos devem estar intimamente ligados em um ensino capaz de moldar cidadãos para o futuro.

### **2.3.4 Mais aprendizagem, mais sociedade, mais comunicação**

Como percebido, diferentes autores de correntes distintas contemplam a ideia do ensino para a cidadania, e a perspectiva de agrupar alguns deles em prol de um mesmo ideal é corroborada por Nóvoa<sup>18</sup> (2009):

---

<sup>18</sup> Educador e historiador português.

O discurso da cidadania é adotado mesmo por grupos com concepções de educação distintas, e até antagônicas. Veja-se, por exemplo, o debate entre laicos e religiosos: os primeiros, na esteira de Jules Ferry, sublinhando a importância da “instrução moral” na escola e remetendo para as famílias e a Igreja a “instrução religiosa”; os segundos defendendo uma escola que, sem nunca pôr em causa os direitos dos pais, complete a sua ação no plano da “instrução moral religiosa”. Uns e outros, explicam que a escola deve instruir e educar, alargando a sua influência à totalidade do ser em formação (NÓVOA, 2009, p. 64).

Nóvoa (2009) defende a ideia de que, ao seguir-se nesse caminho da educação para a cidadania, é necessária uma intervenção com mais aprendizagem, mais sociedade e mais comunicação:

- Mais aprendizagem: o desafio de romper com a uniformização do ensino, compreender às distintas necessidades e projetos de vida dos estudantes, educar para diversificar;
- Mais sociedade: a base de uma sociedade não é relativa ao sentimento entre as pessoas ou semelhança de afinidades, mas sim ao fato de precisarem conviver juntas e, portanto, saberem se respeitar e crescerem em conjunto.
- Mais comunicação: é necessária a comunicação externa ao ambiente de ensino, participação em debates sociais e culturais, envolvimento com a comunidade em geral.

Além de levantar estes três aspectos como importantes para uma educação cidadã, Nóvoa (2009) ainda implica ser impossível pregar a cidadania, formar um novo cidadão preparado para lidar com os desafios da sociedade, sem possuir na própria figura do professor um cidadão.

### **2.3.5 Considerações sobre a humanização do ensino**

Definindo a humanização do ensino é possível constatar que humanizar a engenharia é: “compreender que o modelo formativo de engenheiros envolve implicações sociais mais complexas do que o ensino cartesiano”.

Complementando a ideia, Ferreira e Teixeira Rodrigues (2004) sobre a questão da humanização nos cursos de engenharia avaliam que a

relação professor/estudante terá que tomar outros rumos, e que avaliar não pode se restringir ao ato de inferir aprendizagem.

Até mesmo no Brasil já existem universidades aplicando este conceito, em notícia<sup>19</sup> datada de 2012 no site do ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), Teodora (2012) já frisava como a instituição em questão iria reestruturar os cursos de graduação para, segundo ela: “tentar humanizar seus estudantes”. O objetivo de tal reestruturação seria aliar o aprendizado técnico com as habilidades sociais, visando aumentar a capacidade dos estudantes de trabalhar em equipe e lidar com desafios.

Desse modo, pelo levantamento da literatura feito nesse capítulo, é possível constatar que a educação não deve mais ser pensada como uma etapa preparatória, mas sim como um bem com um valor em si mesmo, esse para a vida toda (BRANDÃO, 2005). Além disso, a humanização tem um papel importante na aproximação ou reaproximação da cultura com o homem, que como ser sociável, necessita dessas interações e do conhecimento do seu passado para sua constante evolução. Leontiev (1978) discorre sobre a aquisição do “instrumento” – nessa aproximação de homem e cultura –, que seria um projeto de um produto cultural que leva os traços característicos da criação humana, sendo ao mesmo tempo um objeto social que incorpora as operações de trabalho elaboradas historicamente, no qual são cristalizados os conhecimentos previamente estabelecidos.

Pacheco (2005) também cita a característica do ser sociável como importante para o aprendizado, e comenta a respeito do assunto, já com o viés da educação superior:

O ser humano, como ser sociável, precisa de atenção, ser ouvido. O método de ensino talvez seja quase secundário. Qual seria o real valor de uma boa "conversa construtiva"? Como se poderia elevar o "moral" dos estudantes frente aos seus desafios diários? A escola deveria buscar resolver os conflitos pessoais e familiares dos seus estudantes? E os professores teriam tempo, interesse e preparo para lidar com estas questões com seus estudantes (PACHECO, 2005, p. 28)?

A importância da humanização, além de preparar o estudante para se tornar um cidadão consciente, também tem a sua importância como objetivo transformador do ensino, buscando com que o estudante

---

<sup>19</sup> <http://www.ita.br/noticias/mudananoscursosvisahumanizarestudantes>



---

não se sinta penalizado facilmente, e se sinta confortável no contexto da sua relação de aprendizagem. Bazzo et al. (2014) discorrem sobre a engenharia cartesiana e tradicional:

No ensino de engenharia temos muita dificuldade de conviver com o erro; penaliza-se o estudante e ignora-se a sua produção como se fosse uma hereesia recepciona-lo de modo diferente. Comumente se classifica o erro como fracasso ou incompetência para quem o produziu. Tal atitude do professor afeta emocional e cognitivamente o estudante ao ponto de ele se sentir mal ao ser solicitado a fazer ou a participar de uma avaliação (BAZZO et al., 2014, p. 25).

Complementando essa ideia, Geraldi (2010), defende que o ensino deve ser focado em perguntas, e não nas respostas, e que o professor precisa estar disposto a se adaptar:

A escola é um lugar de aprendizagem e o ensino a ele se subordina, por isso este não pode definir suas sequências, fixar um caminho e determinar desde sua organização o que e o que deve ser aprendido. Quem está aprendendo é um sujeito falante, produtor de compreensões, com ritmos, interesses e histórias (GERALDI, 2010, p. 10).

## 2.4 DESAFIOS DO ENGENHEIRO NO SÉCULO 21 E AS CONSEQUENTES MUDANÇAS DE PARADIGMA

Em uma reflexão a respeito da contextualização dos engenheiros no século 21, Vest (2008) discorre que os engenheiros de amanhã, e até mesmo os de hoje, terão de enfrentar profundos e novos desafios. Para o autor, os novos engenheiros terão de enfrentar o estresse de a cada dia competir em um mundo de mudanças aceleradas onde precisarão resolver problemas sem precedência de escopo e escala. Remetendo novamente às mudanças críticas que a velocidade das mudanças traz para as profissões relacionadas à tecnologia citadas no início deste trabalho (CASTELLS, 2010; TAYLOR, 1998)

Os conceitos relacionados à humanização da engenharia se tornam importantes para preparar os engenheiros para os novos desafios que terão de enfrentar nas próximas décadas. Em um levantamento feito com

especialistas, foram definidos os Grandes Desafios da Engenharia para os próximos anos, apresentados sem ordem de importância (VEST, 2008): economia de energia solar, fornecer energia de fusão, desenvolver métodos de sequestro de carbono, gerenciar o ciclo de nitrogênio, fornecer acesso à água limpa, desenvolver melhores medicamentos, avanços na informática em saúde, ciberespaço seguro, prevenir o terror nuclear, restaurar e melhorar a infraestrutura urbana, engenharia reversa do cérebro, melhorar a realidade virtual, aprendizagem personalizada avançada, desenvolvimento das ferramentas de descoberta científica.

Percebe-se que os desafios envolvem energia e sustentabilidade, cuidados com a saúde, e avanços na capacidade humana de autoconhecimento (VEST, 2008).

A interdisciplinaridade é fator importante na construção desses avanços necessários aos novos engenheiros, sendo necessário construir relacionamentos com as ciências naturais, sociais, comportamentais, computacionais e matemática. É necessário que a engenharia como um todo se comunique com as outras áreas de conhecimento para oferecer contexto para o estudante, oferecendo para o engenheiro uma visão do seu papel na história e no futuro (MALCOM, 2008).

A essa capacidade de ir além dos conhecimentos básicos e alcançar um nível de compreensão e entendimento que permita ao engenheiro lidar com novos problemas de uma forma inovadora e criativa, Pellegrino (2006) chama de “conhecimento adaptativo”, e implica que tal fator deve ser o novo objetivo a ser alcançado pelos educadores no âmbito da engenharia.

Segundo Redish e Smith (2008) a comunidade tem obtido significantes avanços em conduzir estudos relacionados à educação em engenharia e propor metas que incluam este “conhecimento adaptativo”, contudo, tem sido menos eficiente em descobrir como alcançar essas metas. Na visão de Pellegrino (2006), três componentes educacionais devem ser não só desenvolvidos, mas alinhados de forma a se complementar para alcançar esses objetivos: currículo, instrução e avaliação. No entanto, algumas considerações são feitas (PELLEGRINO, 2006; REDISH; SMITH, 2008):

- O alinhamento pode ser difícil de ser alcançado, faltando uma teoria central sobre a natureza da aprendizagem em um domínio de conhecimento no qual as três componentes podem ser coordenadas;
- Parte das abordagens atuais para o currículo, instrução e avaliação se baseiam em teorias e modelo que não acompanharam o

ritmo atual de como as pessoas adquirem o conhecimento, tendo sido concebidos com bases em concepções implícitas e limitadas de aprendizagem. O alinhamento entre os três componentes poderia ser alcançado de forma mais eficiente se eles fossem derivados de uma base de conhecimento apropriada sobre cognição e aprendizagem nos domínios do assunto a ser abordado.

Pellegrino (2006) ainda faz considerações sobre como os estudantes adquirem conhecimento e o papel disto nas ciências educacionais (REDISH; SMITH, 2008):

- **Construtivismo:** os estudantes vão para a sala de aula com ideias pré-concebidas a respeito de como o mundo funciona que incluem crenças e âncoras baseadas em experiências prévias;
- **Organização do conhecimento:** para desenvolver conhecimento em uma área de investigação, o estudante deve possuir fundações do conhecimento factual, entender fatos e ideias no contexto conceitual do objeto de estudo e por fim organizar o conhecimento em maneiras que facilitem o seu uso futuro e aplicação;
- **Pensar sobre o pensamento:** uma abordagem metacognitiva que busca auxiliar os estudantes a aprenderem a controlar a sua aprendizagem definindo metas e monitorando o seu progresso.

Considerando o pensamento e a aprendizagem como algo extremamente complexo, o desenvolvimento da neurociência, ciência cognitiva, comportamental e da educação tem alcançado novos patamares na tentativa de compreender a aquisição do conhecimento. Redish e Smith (2008) resumem quatro conceitos que podem auxiliar na compreensão se o “conhecimento adaptativo” está sendo alcançado: ativação, associação, compilação e controle.

- **Ativação:** os modelos atuais presentes na neurociência e na ciência cognitiva defendem que todos os conhecimentos adquiridos pelos indivíduos são armazenados no sistema de neurônios, em particular na força da conexão entre as sinapses. Dessa forma, uma reflexão sobre um objeto em particular corresponde a ativação coordenada de um conjunto de neurônios. Sinapses fortemente conectadas implicam que a aprendizagem necessita de repetição significativa durante longos períodos de tempo<sup>20</sup>;

---

<sup>20</sup> Este conceito está fortemente conectado à regra de Hebb, que implica que a persistência ou a repetição de uma atividade tende a induzir mudanças celulares duradouras

- **Associação:** As implicações da estrutura dos neurônios para o pensamento dependem fortemente de como aglomerados de neurônios se associam e ativam juntos. Isso significa que ao apresentar dados a um sujeito, as conexões entre diferentes recursos podem levar a ativação de certos conjuntos de neurônios, que dependendo da sua força, podem levar a recuperação de conhecimento e informações apropriados ou não para a situação apresentada. Dessa forma, o incentivo do pensamento em termos de associação se torna importante para criar ancoragens nos estudantes que facilitem a aprendizagem;
- **Compilação:** a compilação tem papel importante nos dois primeiros princípios de Pellegrino (2006), o construtivismo e a organização do conhecimento. Esse tópico implica que um estudante que ainda não tenha compilado seu conhecimento sobre um certo assunto pode achar a carga cognitiva para sua manipulação mais exaustiva do que um especialista que já compilou seu conhecimento e a partir da visão geral do assunto é capaz de discerni-lo. Ou seja, um professor, que já possui o conhecimento de um assunto compilado deve executar a engenharia reversa do assunto, sendo capaz de fragmentá-lo ao estudante para ajudar na sua compilação;
- **Controle:** relaciona-se com o terceiro princípio de Pellegrino (2006), que implica em pensar sobre o pensamento. Considerado o elemento crítico da compreensão dos mecanismos relacionados à metacognição<sup>21</sup>, implica que nem todos os mecanismos relacionados a “pensar sobre o pensamento” estão sob controle consciente. Alguns mecanismos refletem as “expectativas” dos estudantes, e pode fazer com que eles deixem de usar o conhecimento adequado que de fato possuem para resolver um problema por não acreditarem que as âncoras pré-definidas que possuem deveriam se relacionar a esta conexão.

Essa abordagem implica que os paradigmas relacionados ao treinamento de novos engenheiros são mais complexos do que uma mera re-

---

que aumentam sua estabilidade, inferindo que caso uma célula “A” esteja próxima o suficiente de uma célula “B” para a excitar, e o faz repetidamente, um processo de mudança metabólica ocorre em uma ou ambas as células, aumentando a eficiência com que a célula “A” dispara a célula “B” (HEBB, 1949).

<sup>21</sup> A metacognição é relacionada ao conhecimento que as pessoas possuem de seus próprios processos cognitivos.

forma curricular, e depende de abordagens que possam auxiliar os estudantes a associarem o mundo a sua volta e as ancoragens previamente construídas, com conhecimentos compilados prontos para serem aplicados em problemas reais.

Ao apresentar a complexidade relacionada aos novos paradigmas da educação de novos engenheiros, se justifica também a premissa desta pesquisa de modelar a aprendizagem ativa, para que se possa compreender suas implicações e seu papel formativo no engenheiro do amanhã.

### 2.4.1 As competências do século 21

Feitas as considerações sobre a humanização da engenharia e levantadas questões acerca dos desafios do novo engenheiro, uma dúvida ainda persiste: como ensinar humanização de modo a prepara-lo para o seu papel no futuro? Uma das possíveis respostas pode estar em desenvolver nos estudantes as chamadas competências do século 21.

Segundo Pellegrino e Hilton (2013) as competências do século 21 podem ser divididas em 3 dimensões: competências cognitivas (Quadro 10), competência intrapessoais (Quadro 11) e competências interpessoais (Quadro 12).

Quadro 10 - Competências cognitivas do século 21.

<b>Competências Cognitivas</b>	
<b>Grupo</b>	<b>Competências do século 21</b>
Processos Cognitivos e Estratégias	Pensamento crítico, resolução de problemas, análise, argumentação, interpretação, tomada de decisão, aprendizagem adaptativa, função executiva
Conhecimento	Pesquisa utilizando evidências e reconhecimento de padrão nas fontes, alfabetização em tecnologias de informação e comunicação, comunicação oral e escrita,
Criatividade	Criatividade, inovação

Fonte: Pellegrino e Hilton (2013).

Quadro 11 - Competências intrapessoais do século 21.

<b>Competências Intrapessoais</b>	
<b>Grupo</b>	<b>Competências do século 21</b>
Abertura intelectual	Flexibilidade, adaptabilidade, apreciação artística e cultural, responsabilidade pessoal e sociais, apreciação pela diversidade, aprendizagem contínua, interesse intelectual e curiosidade

Ética no trabalho	Iniciativa, responsabilidade, perseverança, produtividade, profissionalismo, ética, integridade, cidadania
Núcleo de auto avaliação positivo	Saúde mental e psicológica, estabilidade emocional

Fonte: Pellegrino e Hilton (2013).

Quadro 12 - Competências interpessoais do século 21.

<b>Competências Interpessoais</b>	
<b>Grupo</b>	<b>Competências do século 21</b>
Trabalho em equipe e colaboração	Comunicação, colaboração, trabalho em equipe, coordenação, confiança, empatia, resolução de conflitos, negociação
Liderança	Liderança, responsabilidade, comunicação assertiva, influência social

Fonte: Pellegrino e Hilton (2013).

Diante dessas competências, a tarefa do professor se torna ainda mais complexa, pois além de repassar as informações tradicionais aos estudantes, também precisa prepará-lo para ser atuante como cidadão e auxiliá-lo a desenvolver suas competências transversais. Contudo, a complexidade dessa tarefa faz com que a iniciativa isolada de um professor não seja suficiente para suprir essa lacuna no meio educacional, fazendo com que sejam necessárias políticas educacionais mais amplas para que esse objetivo seja concluído (DUDERSTADT, 2010).

## 2.5 APRENDIZAGEM ATIVA NA ENGENHARIA ELÉTRICA

As metodologias de aprendizagem ativa foram concebidas como um complemento ou mesmo uma alternativa para a aprendizagem passiva. Os métodos presentes nela são direcionados para que os estudantes se envolvam ativamente durante toda a resolução de um problema, e possam, mais tarde, em sua vida profissional, demonstrar a mesma habilidade na resolução de problemas reais.

Segundo Knoll (1997) – em um artigo seminal sobre o histórico da aprendizagem ativa – métodos relacionados a projetos tem sua origem nos colégios de arquitetura italianos do século XVI, mais especificamente na *Academia di San Luca*<sup>22</sup>, época em que não eram considerados centrais no processo de ensino-aprendizagem.

<sup>22</sup> Academia de São Lucas.

---

Em 1671 foi fundada na França a *Académie Royale d'Architecture*<sup>23</sup>, tendo suas origens metodológicas com base no modelo italiano. Nesse momento da história os projetos passaram a ter maior importância no processo educacional, sendo necessário aos estudantes a participação como forma de ganhar reconhecimento e receberem o título acadêmico de arquitetos (KNOLL, 1997).

No final do século XVIII os projetos já não se restringiam mais apenas aos programas de arquitetura e ganhavam espaço também nos colégios de engenharia da Europa, se espalhando por renomados centros, como o *Eidgenössische Technische Hochschule*<sup>24</sup> em Zurique (KNOLL, 1997).

Na mesma época a concepção de projetos europeia serviu também de inspiração para universidades dos Estados Unidos. No final do século XIX o professor Stillman H. Robinson lecionava no curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Illinois, e defendia a ideia de que não era suficiente que seus estudantes apenas projetassem o objeto de estudo, mas que o desenvolvessem, completando o ato de criação. Havia na concepção de Stillman o interesse de que a teoria e a prática deveriam coexistir (KNOLL, 1997).

Posteriormente a ideia da aprendizagem ativa deixou de ser prática exclusiva das grandes universidades e se alastrou para o ensino infantil. Essa nova visão teve em John Dewey um dos seus mais importantes proponentes, ele promoveu ideias relacionadas ao “*learning by doing*”, que em tradução livre pode ser compreendido como “aprender fazendo” e defendeu também que um professor não deveria apenas impor suas ideias e hábitos as crianças, mas que deve ser sim responsável por influenciá-las de forma ativa como um membro da comunidade (DEWEY, 1897; KNOLL, 1997).

Em paralelo a isso, na Europa, a figura de um padre espanhol também contribuiu para o advento da aprendizagem ativa. O padre Andrés Manjón fundou o projeto pedagógico “Escolas do Ave Maria”, e ainda no final do século XIX a pedagogia manjoaniana se tornou popular por fazer uso de jogos no ensino (ARCE GARCÍA, 2002).

O pedagogo William Heard Kilpatrick foi pupilo de John Dewey e teve papel fundamental na divulgação de métodos baseados em projetos. Ele modificou os conceitos iniciais pregados pelo seu tutor, e expandiu o conceito do que poderia ser compreendido como projeto. Para Kilpatrick

---

<sup>23</sup> Academia Real de Arquitetura.

<sup>24</sup> Instituto Federal de Tecnologia.

qualquer atividade desenvolvida pelo estudante, desde que fosse executada de maneira autônoma e por vontade própria poderia ser considerada um projeto (KNOLL, 1997; WURDINGER, 2016).

O novo conceito de projeto pregado por Kilpatrick foi responsável por difundir ainda mais o conceito de projetos. Contudo, suas concepções foram consideradas equivocadas por estudiosos, entre eles John Dewey, seu próprio tutor. As diversas críticas fizeram com que o termo “projeto” acabasse caindo em desuso e que até mesmo Kilpatrick se distanciasse do conceito que ele havia inicialmente proposto, vindo mais tarde a admitir que estava errado em sua concepção (KNOLL, 1997).

Knoll (1997) salienta que, baseadas nas concepções de Dewey e Kilpatrick, diversas formas de utilizar projetos foram utilizadas por educadores ao longo dos anos, e que os esforços têm convergido para harmonizar os métodos ativos com o ensino tradicional.

Com base nesses conceitos que ganharam força no início do século passado, dois modelos de aprendizagem ativa são considerados nesta revisão por estarem em evidência e crescimento dentro da Engenharia Elétrica, são eles a aprendizagem orientada por projetos, também conhecida como *Project-Based Learning* e também a aprendizagem baseada em problemas, conhecida como *Problem-Based Learning*.

Usualmente a metodologia *Project-Based Learning* é apresentada na literatura pela sigla PBL, também utilizada para indicar a *Problem-Based Learning*. Neste trabalho será utilizada a designação **PBL** para a *Project-Based Learning* e **PbBL** para a *Problem-Based Learning*.

O Quadro 13 apresenta, na perspectiva de Larmer (2014), as similaridades e as diferenças entre as duas metodologias.

Quadro 13 - *Project-Based Learning versus Problem-Based Learning*.

<b>Similaridades</b>	
Focam em uma tarefa não limitada ou restrita	
Dão uso autêntico ao conteúdo e habilidades	
Focam em competências do século 21	
Focam na independência e autonomia dos estudantes	
São mais longas do que lições usuais	
<b>Diferenças</b>	
<i>Project-Based Learning</i> (PBL)	<i>Problem-Based Learning</i> (PbBL)
Normalmente interdisciplinares	Mais comumente de disciplina única
São mais extensas (semanas ou meses)	Tendem a ser menores



Seguem fases variadas durante o percurso	Seguem passos tradicionais e rotinizados
Inclui a criação de um produto ou uma performance	O “produto” pode ser uma simples solução proposta, expressa de forma escrita ou oral
Envolve problemas reais, autênticos.	São mais comumente estudos de caso em cenários fictícios.

Fonte: Larmer (2014).

### 2.5.1 Aprendizagem Orientada por Projetos

A aprendizagem orientada por projetos tem conquistado espaço nas últimas décadas, se solidificando como uma das mais importantes inovações no campo da educação. Tendo se transformado em um instrumento para reflexão e questionamento acerca das finalidades da formação profissional e das mudanças que devem ser ocasionadas por ela (BOUD; FELETTI, 1998).

Para Powell et al. (2003), uma das principais características da *Project-Based Learning* é a de estimular o estudante a assumir o papel de protagonista em seu aprendizado, cabendo ao professor atuar como um orientador no processo. Esse tipo de interação causa um amadurecimento profissional e torna a aprendizagem mais ampla, desenvolvendo a liberação do processo cognitivo.

Definir o que deve ou não conter uma aplicação de PBL não é unanimidade entre autores, mas tentativas são feitas de fazê-lo. Em 2010 o BIE (*The Buck Institute for Education*) publicou o que considerou serem os 7 elementos essenciais na metodologia (LARMER; MERGENDOLLER, 2010):

- **A necessidade de saber:** o objetivo do projeto deve engajar o interesse dos estudantes e gerar questionamentos. Muitos estudantes perde o interesse pelos assuntos quando não percebem a importância do que está sendo ensinado;
- **Um objetivo motivador:** o objetivo do projeto deve ser motivador, complexo, e intimamente ligado a essência do conteúdo das disciplinas envolvidas no projeto;
- **Estudantes com voz e escolhas ativas:** um dos pontos chaves da PBL é permitir que os estudantes sintam que possuem voz ativa no projeto, fazendo com que eles se sintam importantes dentro de sua aplicação.

- **Competências do século 21:** o projeto deve dar aos estudantes oportunidade de desenvolver as competências do século 21 como colaboração, comunicação, pensamento crítico e uso de tecnologia.
- **Investigação e inovação:** estudantes acham o projeto mais estimulante se conseguirem realizar investigações reais, sendo motivados pelas questões que eles mesmos eventualmente levantarão, poderão criar algo diferenciado, e não somente reproduzir roteiros;
- **Feedback e revisão:** formalizar processos de *feedback* durante o projeto é importante para enfatizar a criação de produtos e alta qualidade;
- **Um produto apresentado publicamente:** quando os estudantes apresentam o seu produto publicamente, diante de uma audiência variada, e não somente para o professor, ele pode se tornar mais motivador.

No ano de 2015, o BIE atualizou seus conceitos, seguindo as tendências e a experiência resultante por aplicações anteriores (LARMER; MERGENDOLLER, 2015):

- De conteúdo significativo para o conhecimento chave e compreensão: para descrever a aprendizagem do estudante, foco principal do projeto, segundo BIE a palavra “chave” captura melhor a ideia de que a aprendizagem deve ser significativa;
- **De competências do século 21 para habilidades de sucesso:** o modelo antigo separava as competências do século 21 do conteúdo, o novo modelo defende que competências como pensamento crítico, resolução de problemas e colaboração devem ser ensinadas junto com o conteúdo, por exemplo, pensar criticamente sobre algum conteúdo da aula, desta forma o termo “habilidades de sucesso” foi considerado mais abrangente para todas as audiências.
- **De questões dirigidas para problemas ou questões desafiadoras:** o novo modelo define o elemento fundamental de um projeto como um “problema ou questão desafiadora”. Professores podem preferir definir o foco da PBL como uma questão fundamental ou como um desafio de design.
- **De investigação aprofundada para investigação contínua:** como investigação por si só já representa um processo não superficial, aprofundada poderia ser considerada redundante. A

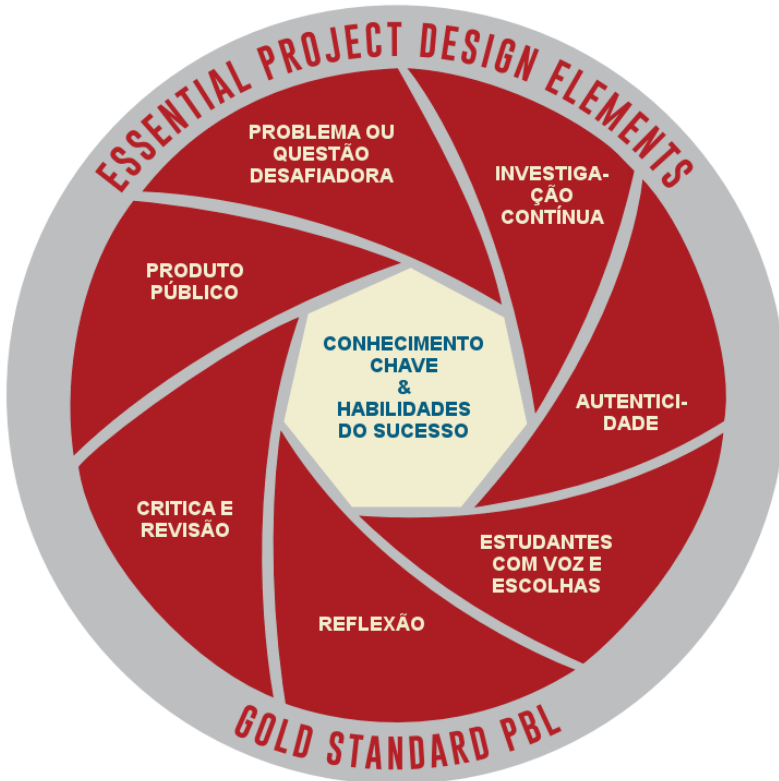
---

investigação agora deve ser considerada contínua, ou seja, deve ser conduzida durante um longo período de tempo.

- **De audiência pública para produto público:** ainda na ideia de que um projeto tornado público é mais motivador, isso não significa necessariamente que os estudantes sempre precisem fazer uma apresentação formal para uma audiência, existem outras maneiras de tornar o projeto público, por exemplo, colocar *online*.
- **Adeus “necessidade de saber”:** um projeto engajador cria uma genuína necessidade de saber por motivar os estudantes, e é ainda um dos argumentos mais fortes da PBL, eles são motivados a saber pois querem completar o projeto. Porém esse termo foi agora deixado de lado, pois ele é considerado já implícito, e já é um dos motivos próprios do uso da PBL.
- **Autenticidade e reflexão:** Dois novos elementos foram adicionados, autenticidade: que tem a ver com o quão ligado com a realidade é um projeto e também a reflexão: em que os estudantes devem refletir sobre o que estão aprendendo e sobre as metas que cumpriram durante o projeto.

Apresentar a evolução dos conceitos da BIE é importante para salientar que a metodologia não é perfeita, e deve estar em constante aprimoramento para se adequar as necessidades atuais do ensino. A Figura 9 retrata o estado atual do chamado padrão PBL GOLD da BIE.

Figura 9 - Padrão PBL GOLD da BIE.



Fonte: traduzido de Larmer e Mergendoller (2015).

Para o BIE existem alguns critérios que diferenciaram atividades baseadas em projetos de outras atividades comuns em salas de aulas. Os projetos devem:

- Reconhecer o ímpeto dos estudantes de aprender, sua capacidade de fazer trabalhos importantes e sua necessidade de serem levados a sério, colocando-os no centro do processo de ensino-aprendizagem;
- Engajar os estudantes nos conceitos e princípios da disciplina. O trabalho deve ser tido como central e não como periférico no currículo;

- 
- Destacar questões provocativas que levem os estudantes a uma exploração verdadeira e autêntica dos tópicos centrais;
  - Requerer o uso de habilidade e ferramentas essenciais, incluindo tecnologias para gestão de projetos;
  - Especificar produtos que resolvem problemas, resolvem dilemas ou apresentam informação gerada por meio de investigação, pesquisa ou raciocínio;
  - Incluir produtos que permitam *feedback* frequente e consistentes oportunidades para os estudantes adquirirem experiência;
  - Utilizar avaliações baseadas em desempenho que envolvam altas expectativas, apresentem desafios e requeiram uma vasta gama de habilidades;
  - Encorajar a colaboração de alguma forma, seja por meio de pequenos grupos, apresentações para outros estudantes, ou avaliações mediante toda a classe.

Thomas (2000) – autor de um extenso estudo sobre *Project-Based Learning* – defende que para que um projeto possa ser chamado de PBL ele deve atender a cinco critérios: centralização, questões dirigidas, investigações construtivas, autonomia e realismo. Cada um destes critérios pode ser resumido da seguinte forma:

- **Centralização:** A PBL deve ser central no currículo, e não algo periférico. Dessa forma o estudante deve aprender os conceitos gerais do assunto no decorrer do projeto;
- **Questões dirigidas:** As questões a serem perseguidas pelos estudantes devem ter um propósito intelectual, e fazerem parte da concepção do projeto;
- **Investigações construtivas:** O projeto deve conter uma meta, um processo voltado a busca do conhecimento e na resolução de um problema. Caso o projeto não seja desafiador o suficiente ao estudante ou possa ser realizado apenas com o uso de conhecimentos adquiridos previamente, ele não deve ser considerado uma PBL;
- **Autonomia:** Autonomia deve ser proporcionada aos estudantes de forma que a aplicação do projeto não acabe se tornando apenas um passo a passo definido por meio de um roteiro pronto a ser seguido;
- **Realismo:** Os projetos devem ser realistas, e não apenas projetos escolares. Eles devem passar um sentimento de autenticidade ao estudante, ter desafios incorporados na vida real e proporcionar

questões que tenham potencial de serem implementadas na prática.

### 2.5.1.1 Casos de PBL na Engenharia Elétrica

A repercussão da PBL (POWELL; POWELL; WEENK, 2003; THOMAS, 2000) tem resultado em suas aplicações em universidades ao redor do mundo, de forma a compreender os resultados dessa metodologia, algumas dessas experiências (especificamente dentro da Engenharia Elétrica) são apresentadas, a predileção pela escolha dos artigos revisados diz respeito a mostrarem análise dos resultados obtidos por meio de questionários, ou possuírem alguma peculiaridade considerada digna de nota<sup>25</sup>.

- Lamar et al. (2010)

Lamar et al. (2010) aplicaram a metodologia na Universidade de Oviedo, na Espanha, para ensinar eletrônica de potência, e citam que mesmo após dois anos de aplicação, o sistema ainda apresenta dificuldade tanto para estudantes quanto para professores, mas apesar disto ainda motiva os estudantes por propor cenários em que eles podem resolver problemas reais, como pode ser visto na conclusão do trabalho:

Como pode ser visto, os estudantes avaliaram positivamente a melhoria na sua capacidade de resolver problemas, para aplicar o conhecimento adquirido em aulas teóricas e em sua capacidade de tomar decisões. Na verdade, a opinião dos estudantes pode ser resumida no comentário de um estudante que era comum em toda a pesquisa: "*Eu gostei de trabalhar em um laboratório de eletrônica de potência no desenvolvimento da criação de um conversor. É muito interessante resolver problemas reais e enfrentar atividades desafiantes como esse projeto*" (Tradução livre<sup>26</sup> de Lamar et al., 2012, p. 720).

---

<sup>25</sup> Os artigos aqui apresentados não visam representar todo o escopo da PBL na Engenharia Elétrica, contudo, servem como um exemplo do que é tipicamente encontrado nos periódicos do meio.

<sup>26</sup> **Texto original:** As can be seen, students positively rate the improvement in their ability to solve problems, to apply the know-how acquired in theory classes and in their ability to make decisions. In fact, the opinion of the students can be summarized

Os autores também coletaram resultados na forma de um questionário aplicado aos estudantes, a fim de avaliar as competências consideradas principais no projeto (Tabela 1) e também as competências consideradas transversais (Tabela 2), com respostas variando de 1 – “Pouco satisfatória” até 5 – “Muito satisfatória”:

Tabela 1 - Avaliação das principais competências desenvolvidas em Lamar et al. (2010).

Indicadores	Frequência (%)				
	1	2	3	4	5
Avalie sua melhora na habilidade de resolver problemas de eletrônica de potência	0	0	0	57	43
Avalie sua melhora na sua habilidade de aplicar os conhecimentos adquiridos em sala de aula	0	4	43	42	11
Avalia sua melhora na capacidade de tomar decisões.	0	0	14	57	29

Fonte: traduzido de Lamar et al. (2010).

Tabela 2 - Avaliação de outras competências desenvolvidas em Lamar et al. (2010).

Indicadores	Frequência (%)				
	1	2	3	4	5
Avalie sua melhora em procurar e assimilar informações por si mesmo	0	0	14	57	29
Avalie sua melhora em outras habilidades	0	0	0	71	29
Avalie sua satisfação com o trabalho realizado.	0	0	14	57	29
Avalia a avaliação feita no curso.	0	0	14	72	14
Avalie o tempo de planejamento do assunto.	0	0	14	29	57

Fonte: traduzido de Lamar et al. (2010).

in a student comment that was common in all surveys: “I enjoyed working in a power electronics laboratory developing the design of a converter very much. It is very interesting to solve real problems and to face challenging activities like this project” (LAMAR et al., 2009, p. 720).

- Hosseinzadeh e Hesamzadeh (2012)

O método também foi aplicado na CQUniversity na Austrália, conforme citado por Hosseinzadeh e Hesamzadeh (2012). Na experiência proposta por eles uma forma híbrida da PBL que combina aprendizagem via projeto com lições curtas e tarefas se mostrou mais eficaz em comparação às aplicações anteriores feitas na própria universidade.

Segundo os autores, um dos fatores contribuintes para o sucesso da aplicação, foi o contato dos estudantes com a metodologia desde o primeiro ano do curso, preparando-os para aplicações mais avançadas. Contudo, apesar da boa receptividade do método, também houve opiniões negativas por parte dos estudantes:

Eu prefiro cursos que cubram a parte técnica na forma de exercícios e tarefas e não no formato de PBL. A PBL somente deveria ser utilizada em cursos onde desenvolver habilidades é o foco principal, e não o desenvolvimento do conhecimento (Tradução livre<sup>27</sup> de Hosseinzadeh e Hesamzadeh (2012), p. 500).

Mas, de forma geral, o retorno positivo foi maior, com estudantes relatando melhoras no desenvolvimento de trabalho em equipe e comunicação escrita e verbal. Os estudantes também consideraram o projeto relevante ao curso, melhorando a sua capacidade de resolver problemas reais de sistemas de potência.

- Chu et al. (2008)

Ainda na Austrália, desta vez na Universidade de Sidney, Chu et al. (2008) relataram que os estudantes consideraram o desenvolvimento de um produto relativamente complexo de engenharia uma experiência extremamente positiva de aprendizado.

Um questionário realizado no fim do semestre mostrou que a maioria dos estudantes (68%) concordou ter ficado satisfeita com o assunto, enquanto 65% dos estudantes afirmou que o assunto os ajudou a desenvolver competências transversais.

---

<sup>27</sup> **Texto original:** I prefer courses that cover technical content to be assignment-based rather than in PBL format. PBL should only be used in courses where developing skills is the main focus rather than technical knowledge (HOSSEINZADEH e HESAMZADEH, 2012, p. 500).



De forma geral, o *feedback* dos estudantes demonstrou que o projeto teve mais apelo com os estudantes do que as experiências rotineiras de laboratório.

- Kumar et al. (2013)

Kumar et al. (2013) utilizaram a metodologia para o ensino de sistemas embarcados na *National University of Singapore*, e afirmam que o assunto em questão é particularmente desafiador pois envolve várias disciplinas.

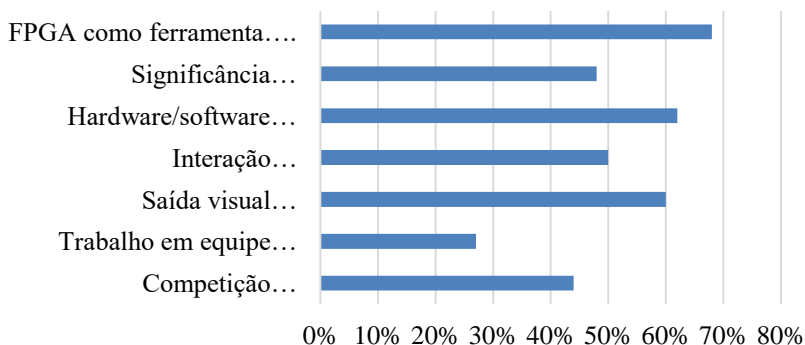
Segundo eles, a metodologia foi aplicada em duas disciplinas, uma sobre sistemas embarcados de tempo real, e outras de projeto de *hardware* para sistemas embarcados. Para isso desenvolveram projetos envolvendo o uso de FPGAs (*Field Programmable Gate Array*) com o objetivo de motivar os estudantes e os pôr em contato direto com ferramentas de desenvolvimento.

Os estudantes da disciplina de sistemas embarcados em tempo real ficaram a cargo de desenvolver projeto de jogo de futebol, envolvendo três placas de FPGA, uma para cada time e uma para conduzir o jogo, sendo a saída exibida por meio de vídeo.

Já os estudantes da disciplina de projeto de *hardware* para sistemas embarcados ficaram encarregados de fazer um decodificador/codificador de imagens por meio de um FPGA, também exibindo a saída em vídeo.

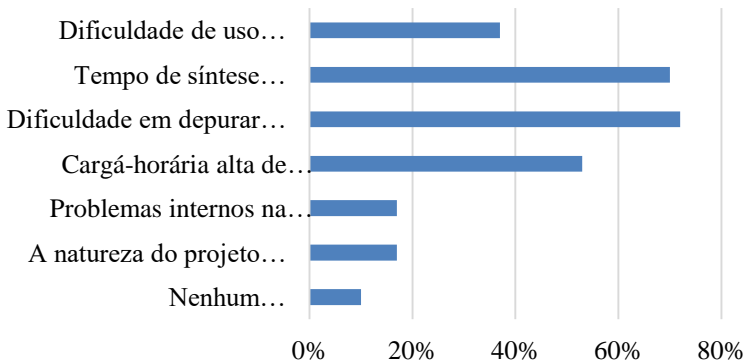
O resultado da pesquisa de satisfação com os estudantes são apresentados na Figura 10 e Figura 11, respectivamente para os fatores motivadores e os fatores desmotivadores encontrados no projeto.

Figura 10 - Fatores motivantes em Kumar et al. (2013).



Fonte: traduzido de Kumar et al. (2013)

Figura 11 - Fatores desmotivadores em Kumar et al. (2013).



Fonte: traduzido de Kumar et al. (2013).

Os autores afirmam que parte essencial do diferencial orquestrado pelo projeto foi o de gerar divertimento nos estudantes enquanto estavam aprendendo, enquanto um dos maiores problemas foi o significativo número de FPGAs necessários para a realização.

- Brackenbury et al. (2010)

Brackenbury et al. (2010) por sua vez, utilizaram a metodologia para o ensino de SoC (*system-on-chip*), que, segundo eles, também é uma tarefa complexa que envolve uma variada gama de habilidades. Neste projeto os estudantes cuidaram de todos os passos, desde a especificação até a implementação. Durante a execução dos passos, os estudantes são vistos como um time, trabalhando em uma parte específica, mas tendo entendimento do projeto como um todo.

O objetivo do projeto era projetar uma máquina de desenhos capaz de aceitar comandos para desenhar uma forma específica, que calcula os pontos a serem desenhados e escreve eles em uma memória, com a possibilidade de ser exibida em vídeo. Para isso uma base completamente funcional foi fornecida aos estudantes, cabendo a eles adicionar uma nova forma a ser desenhada (em que a maioria preferiu círculos).

Um questionário foi aplicado aos estudantes a fim de repercutir a opinião deles sobre o projeto, conforme apresentado na Tabela 3. A pesquisa foi coletada em duas aplicações do projeto, uma com início em 2006 e fim em 2007, e outra que foi de 2007 até 2008.

Tabela 3 - Opinião dos estudantes em Brackenbury et al. (2010).

<b>Questão</b>	<b>2006-2007</b>	<b>2007-2008</b>
O ensino que recebi foi excelente	82%	100%
O material estudado foi intelectualmente estimulante	86%	92%
As habilidades que desenvolvi são valiosas	90%	92%
O <i>feedback</i> que recebi me ajudou	75%	83%
Os professores e equipe de apoio eram de fácil acesso	93%	100%
As instalações necessárias para o trabalho estavam disponíveis	82%	83%
O conteúdo era muito relevante no meu curso	72%	100%
O conteúdo era bem integrado com outros do meu curso	50%	75%
O conteúdo não era desnecessariamente difícil	36%	92%
O conteúdo como um todo era bastante interessante	90%	92%

Fonte: traduzido de Brackenbury et al. (2013).

É possível perceber a evolução do projeto por meio das respostas dos estudantes em sua segunda aplicação, mostrando a evolução e o amadurecimento do mesmo.

Segundo o autor, apesar de SoC ser um tópico bastante complexo, o curso demonstrou ser possível desenvolver nos estudantes habilidades para resolver problemas por meio de exemplos prontos e didáticos. Além disso, a melhor parte do curso foi a satisfação e o entusiasmo dos estudantes ao levar seu projeto da concepção até a implementação.

- Guzman Ramirez et al. (2016)

Guzman Ramirez et al. (2016) desenvolveram uma ferramenta educacional baseada em web para o ensino de conversores CC-CC por meio de FPGA, já preparada para comportar trabalho em equipe, mesmo de forma virtual.

Para testar a metodologia foi feito uma análise quantitativa por meio de dois grupos: um grupo experimental que durante o semestre foi submetido a PBL mediante práticas experimentais feitas por meio da ferramenta web; e um grupo de controle, em que estudantes utilizaram o modelo de aprendizagem em um laboratório físico supervisionado. Os questionários possuíam cinco possíveis respostas, variando de 1 – “Totalmente em desacordo” até 5 – “Totalmente de acordo”, e são apresentados na Tabela 4 e na Tabela 5.

Os resultados demonstram vantagem para as respostas providas do grupo experimental, quanto a isso os autores afirmam que essa diferença possa ter origem no fato de que a ferramenta proposta, suportada pela PBL, incitou os estudantes a serem mais ativos, tendo mais desejo de estudar e aprender enquanto trabalhavam colaborativa mente.

Além disso, os professores perceberam que quando um estudante não queria participar dos experimentos práticos, o entusiasmo e o auxílio dos outros membros de seu grupo acabavam por motivá-lo a completar suas responsabilidades no projeto.

Tabela 4 - Opinião dos estudantes do grupo de controle em Guzman et al. (2016).

Indicadores	Grupo de Controle (%)				
	1	2	3	4	5
Na minha opinião, a realização de experiências práticas é bastante motivante para a nossa formação como engenheiros	0	0	0	19	7
Eu aprendi sobre as partes dos motores elétricos usando modelos e imagens interativas	13	7	4	2	0
Experiências em tempo real facilitaram o meu aprendizado sobre conversores CC-CC	0	8	5	9	4
A explicação dos professores durante a experimentação colaborativa facilitou a minha aprendizagem	15	6	5	0	0
Considero que experiências práticas similares devem ser utilizadas em outros cursos de caráter técnico.	0	11	8	7	0
Me senti cômodo com a maneira de realizar de realizar e monitorar os experimentos por meio da internet.	14	8	4	0	0
Todas as perguntas que realizei a respeito dos experimentos práticos me foram respondidas em tempo por meio da ferramenta.	5	7	6	8	0
Durante os experimentos práticos, consegui me concentrar mais na operação do que na construção física dos conversores.	8	6	6	4	2
O método experimental utilizado é mais seguro e efetivo do que o somente baseado em lições teóricas.	4	9	6	7	0
Me sinto confiante ao saber que as conexões físicas e o cabeamento do sistema utilizados nos	0	0	5	19	2

experimentos práticos foram realizados por mim.					
É muito importante para mim observar todas as possibilidades de falhas durante os experimentos práticos.	0	0	2	20	4
Meus companheiros de equipe adquiriram confiança em si mesmos durante os experimentos práticos.	2	9	7	8	0
Considero que o número de cursos amparados pela tecnologia deve incrementar em minha como engenheiro.	0	0	5	15	6
Me sinto motivado a repetir voluntariamente um experimento quantas vezes for necessário.	7	13	6	0	0

Fonte: traduzido de Guzman et al. (2016)

Tabela 5 - Opinião dos estudantes do grupo de experimental em Guzman et al. (2016).

Indicadores	Grupo de Controle (%)				
	1	2	3	4	5
Na minha opinião, a realização de experiências práticas é bastante motivante para a nossa formação como engenheiros	0	0	0	19	7
Eu aprendi sobre as partes dos motores elétricos usando modelos e imagens interativas	13	7	4	2	0
Experiências em tempo real facilitaram o meu aprendizado sobre conversores CC-CC	0	8	5	9	4
A explicação dos professores durante a experimentação colaborativa facilitou a minha aprendizagem	15	6	5	0	0
Considero que experiências práticas similares devem ser utilizadas em outros cursos de caráter técnico.	0	11	8	7	0
Me senti confortável com a maneira de realizar de realizar e monitorar os experimentos por meio da internet.	14	8	4	0	0
Todas as perguntas que realizei a respeito dos experimentos práticos me foram respondidas em tempo por meio da ferramenta.	5	7	6	8	0
Durante os experimentos práticos, consegui me concentrar mais na operação do que na construção física dos conversores.	8	6	6	4	2

---

O método experimental utilizado é mais seguro e efetivo do que o somente baseado em lições teóricas.	4	9	6	7	0
Me sinto confiante ao saber que as conexões físicas e o cabeamento do sistema utilizados nos experimentos práticos foram realizados por mim.	0	0	5	19	2
É muito importante para mim observar todas as possibilidades de falhas durante os experimentos práticos.	0	0	2	20	4
Meus companheiros de equipe adquiriram confiança em si mesmos durante os experimentos práticos.	2	9	7	8	0
Considero que o número de cursos amparados pela tecnologia deve incrementar em minha como engenheiro.	0	0	5	15	6
Me sinto motivado a repetir voluntariamente um experimento quantas vezes for necessário.	7	13	6	0	0

---

Fonte: traduzido de Guzman et al. (2016)

De forma geral, percebe-se que as aplicações da PBL na Engenharia Elétrica são bem recepcionadas pelos estudantes, gerando resultados positivos, principalmente por, usualmente, levar prática para disciplinas usualmente teóricas.

Contudo, diante da revisão da literatura percebeu-se que o estudo de aplicações de PBLs aplicadas à Engenharia Elétrica possui, quando muito, seus resultados analisados por meio de Análise de Frequência. Esta lacuna na literatura justifica o desenvolvimento deste trabalho.

### 2.5.2 Aprendizagem Baseada em Problemas

A *Problem-Based Learning* segundo Barrows (1996) tem sua origem no curso de medicina da *McMaster University* situada Canadá nos finais de 1960, onde foi aplicada por ele e seus colegas. A motivação de sua criação foi para amenizar a desmotivação dos estudantes que viam pouca conexão entre as disciplinas ensinadas no início do curso e a prática efetiva da medicina.

Os benefícios dessa metodologia na literatura são muito semelhantes aos da PBL apresentados anteriormente, tanto que as diferenças sutis entre uma e outra metodologia (conforme apresentado no início do subcapítulo) podem fazer com que uma seja um caso particular da outra e vice-versa.

Além de fazer com que os estudantes se sintam mais motivados e integrados com o processo de ensino-aprendizagem, segundo Vignochi et al., (2009) também ocorre redução no nível de estresse de estudantes submetidos a metodologia em comparação a estudantes de escolas tradicionais.

### 2.5.2.1 Casos de PbBL na Engenharia Elétrica

Da mesma forma que para a PBL, também se apresentam aplicações em assuntos relacionados a Engenharia Elétrica, desta vez para PbBL, de forma a melhor compreender a repercussão desta metodologia, em que novamente a predileção pela escolha dos artigos revisados diz respeito a mostrarem análise dos resultados obtidos por meio de questionário, ou possuírem alguma peculiaridade considerada digna de nota<sup>28</sup>:

- Mota et al. (2004)

Mota et al. (2004) aplicaram a PbBL na Universidade Federal de Campinas (UNICAMP), usando uma abordagem mediada por computadores, onde um ambiente interativo web substituiu as aulas convencionais durante quatro períodos letivos.

Com base nas aplicações, alguns dos pontos positivos citados pelos autores incluem: o fato dos estudantes poderem gerenciar seus próprios tempos de estudo (chamado de estudo assíncrono); a inclusão de tecnologias web tiveram um apelo motivacional maior com os estudantes.

Contudo, algumas desvantagens também ficaram claras: o tempo inicial da preparação do material, incluindo o desenvolvimento de aplicativos computacionais especializados pode ter um alto investimento; alguns estudantes tiveram dificuldades em aprender por si mesmos as ferramentas disponibilizadas<sup>29</sup>.

Os autores ainda salientam que nas aplicações iniciais os estudantes não foram tão receptivos com a metodologia, mas que nos semestres subsequentes, o amadurecimento do projeto tornou a receptividade maior.

---

<sup>28</sup> Os artigos aqui apresentados não visam representar todo o escopo da PbBL na Engenharia Elétrica, contudo, servem como um exemplo do que é tipicamente encontrado nos periódicos do meio.

<sup>29</sup> É importante perceber que as aplicações se deram nos anos de 2001 e 2002, nos quais os estudantes das universidades brasileiras ainda não tinham tanto contato com computadores.

- Nonclercq et al. (2010)

Nonclercq et al. (2010) utilizaram a metodologia para o ensino de instrumentação, consistindo de dois componentes, um primeiro simulado para permitir rápido entendimento superficial e aquisição de parâmetros, e um segundo, consistindo de módulos didáticos permitindo a aquisição real dos parâmetros.

Um fato interessante sobre o estudo realizado na Bélgica diz respeito à aplicação ter sido feita em estudantes de mestrado de Engenharia Biomédica e Engenharia Elétrica. Os autores citam que de forma geral os estudantes ficaram satisfeitos com o aprendizado proporcionado, aprimorando inclusive seu pensamento crítico. Uma análise quantitativa foi realizada a fim de compreender a repercussão do projeto, conforme Tabela 6, com notas até 5.

Tabela 6 - Resultados dos questionários em Nonclercq (2010).

<b>O ambiente virtual:</b>	<b>Média</b>
Me ajudou a visualizar os conceitos da instrumentação	3,9
É fácil de utilizar	3,5
É interativo	3,5
É completo	3,0
É, de modo geral, uma ferramenta útil	3,9
<b>Os módulos didáticos:</b>	<b>Média</b>
Me ajudaram a visualizar os conceitos da instrumentação	4,0
É fácil de utilizar	4,3
É interativo	4,2
É completo	3,8
É, de modo geral, uma ferramenta útil	4,2
<b>Os dois tipos de aquisição:</b>	<b>Média</b>
Me ajudaram a visualizar os conceitos rapidamente (graças a parte virtual) e a me aprofundar em detalhes (graças aos módulos didáticos)	3,9
São complementares	3,9
Poupam tempo em relação ao equipamento clássico de laboratório	3,8
Me ajudaram a construir uma cadeia de aquisição	4,3
Me ajudaram a analisar os diferentes módulos e as suas interações	4,1
Me ajudaram a analisar a qualidade das aquisições	4,0
<b>O laboratório:</b>	<b>Média</b>
Me ajudou a desenvolver novas habilidades	3,8



---

Me permitiu gastar menos tempo em tarefas menos interessantes	4,0
É uma nova abordagem laboratorial	4,2
Foi mais útil que um laboratório tradicional	
Foi, de modo geral, bom	4,1

---

Fonte: traduzido de Nonclercq (2010).

- Vosinakis e Koutsabasis (2012)

Vosinakis e Koutsabasis (2012) adotaram uma abordagem diferente na aplicação de sua PbBL, partindo do uso de mundos virtuais. O mister da ideia é voltado para ensino a distância e foi testado em um curso de pós-graduação de interação homem-máquina, em que várias atividades relacionadas a PbBL foram aplicadas, incluindo métodos relativos ao ciclo de vida completo do desenvolvimento de um produto.

Eles afirmam que a ideia pode ser mais funcional em mundos virtuais onde o estudante pode criar seu próprio avatar e ter a possibilidade de criar objetos 3D, tais como o Second Life e o Opensim.

Durante o curso o ambiente virtual foi testado e teve uma repercussão positiva, sendo utilizado como ambiente de suporte colaborativo e de prototipagem. Segundo os autores, a vantagem deste intermediador de PbBL sobre outro reside no fato da integração, o trabalho de um grupo era visível para todos, de forma que tutores e outros grupos poderiam estar cientes e aprender com as atividades sendo desenvolvidas.

Os estudantes podiam interagir de forma remota, se comunicando em tempo real por meio de texto, ou mesmo de voz, desfrutando de vasta liberdade ofertada pelo mundo virtual colaborativo.

Por fim, dificuldades também foram notadas pelos autores, afirmando que alguns estudantes tiveram dificuldades de se habituarem ao uso do sistema, e requeriam suporte técnico durante vários momentos durante o curso, além disso, as ferramentas gratuitas utilizadas – em comparação com as comerciais – ofereciam níveis de renderização piores, por vezes causando frustração aos estudantes.

- Santos-Martin et al. (2012)

Santos-Martin et al. (2012) utilizaram a metodologia para o ensino de energia eólica em um curso de mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrônica, em que foi dado aos estudantes o problema de identificar a resposta da turbina eólica a uma falta da rede. Para isso ser feito, duas ferramentas foram disponibilizadas aos estudantes: um simulador virtual de uma turbina, e um módulo com uma turbina real.

Os autores afirmaram que os estudantes se tornaram mais confiantes quando os resultados confirmaram suas hipóteses, e ambas as ferramentas foram consideradas satisfatórias, entretanto, o módulo com uma turbina eólica real foi considerado mais custoso em relação a tempo.

Ainda foi comparada a aplicação da PbBL com uma aplicação anterior feita pelos autores, utilizando metodologia considerada tradicional, e o resultado é apresentado na Tabela 7, e apresenta resultados mais favoráveis à aprendizagem ativa.

Tabela 7 - Resultado dos questionários em Santos-Martin et al. (2012).

Você concorda que:	Tradicional	PbBL
	(0-5)	(0-5)
A estrutura do programa é completa?	3,2	3,7
O nível do conhecimento adquirido é adequado?	3,7	4,3
O conteúdo do curso é apropriado para o mestrado?	3,5	4
De modo geral, você está satisfeito com as simulações e o laboratório?	2,1	3
Depois desse curso, seu interesse em energia eólica aumentou?	3,4	4
A avaliação da metodologia é apropriada?	3,3	4
De modo geral, você está satisfeito com esse curso?	3	4

Fonte: traduzido de Santos-Martin et al. (2012).

- Mitchell et al. (2010)

Mitchell et al. (2010) adotaram a metodologia em um curso de sistemas de comunicação, e concluem que a PbBL é uma metodologia bastante eficiente e encoraja os estudantes a desenvolverem suas competências transversais bastante valorizadas por empregadores. Particularmente os professores perceberam que os estudantes tiveram bons resultados trabalhando em equipe e melhorando suas capacidades de comunicação.

De forma geral, tanto estudantes como professores consideraram a PbBL como sendo uma experiência valorosa, contudo, deve ser notado que a inclusão de problemas sem solução única (como nos modelos tradicionais) e com necessidade de interpretação levou a uma certa ansiedade.

A Tabela 8 compara os níveis de confiança dos estudantes (variando de 0 até 5) antes e depois da aplicação da PbBL. Ela demonstra que

depois de serem confrontados com problemas mais próximos dos encontrados no mercado de trabalho, não se sentiram mais tão seguros de seus conhecimentos.

Tabela 8 - Resultado da confiança dos estudantes em Mitchell et al. (2010).

<b>Tópico</b>	<b>Pré-PbBL (0-5)</b>	<b>Pós-PbBL (0-5)</b>
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento das características gerais de semicondutores lasers comparados com LEDs?	3,11	2,39
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento das características de fotodetectores?	2,89	2,71
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento das características de fibras óticas de sílica em modo simples e composto?	3,07	2,04
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento de fibras óticas plásticas?	4,07	2,93
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento da estrutura e operação das diferentes classes de laser?	4,50	2,93
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento a respeito de dispersão em fibras óticas?	2,68	2,14
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento em mensurar potência ótica?	3,46	2,04
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento em relação S/R e relação Bit-Erro aplicadas a sistemas óticos?	2,93	2,79
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento em amplificação ótica?	3,75	3,14
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento dos padrões SONET/SDH?	4,39	2,50
O quão confiante você é a respeito do seu conhecimento de multiplexação por divisão de comprimento de onda?	3,25	2,68

Fonte: traduzido de Mitchell et al. (2010)

Por fim, os estudantes também foram inquiridos a expressar suas opiniões sobre a PbBL em um questionário variando de 1 – “Discordo totalmente” até 5 – “Concordo totalmente”, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultado da aceitação da PbBL em Mitchell et al. (2010).

Indicadores	Frequência (%)				
	1	2	3	4	5
Eu gosto da aprendizagem baseada em problemas	6	9	24	57	4
Eu sinto que aprendi mais na metodologia em comparação a métodos tradicionais	0	19	30	43	7
A PbBL consumiu mais meu tempo do que a metodologia tradicional.	0	0	4	23	73
Eu sou mais responsável pelo meu próprio aprendizado na PbBL.	0	2	13	43	41
Eu gosto de trabalhar em equipe.	2	4	26	60	7
Eu entendi claramente os problemas apresentados.	2	13	43	32	9
Eu entendi facilmente o que foi pedido.	0	21	51	26	2
Eu fiquei feliz com o nível de suporte provido pelos professores.	4	9	24	53	9
Eu prefiro os métodos tradicionais de ensino.	0	15	45	28	11
Eu gostaria de repetir a experiência em outras disciplinas.	6	9	40	42	4
PbBL me ajudou na melhora de buscar informações por mim mesmo.	0	2	11	53	34

Fonte: traduzido de Mitchell et al. (2010)

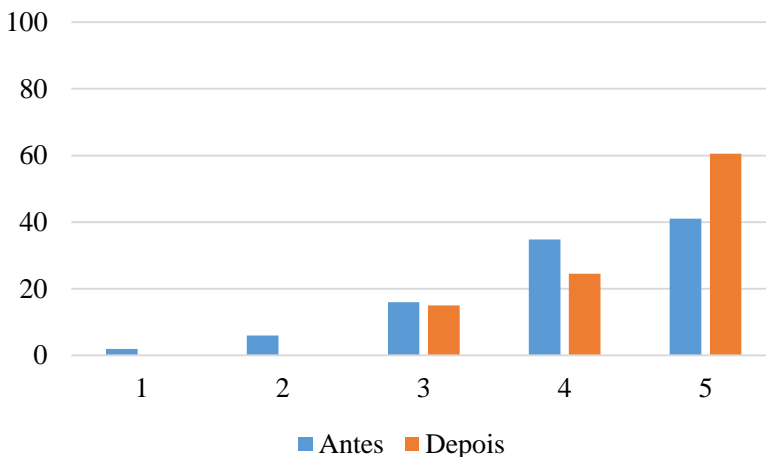
- Kim (2012)

Kim (2012) apresenta a aplicação da metodologia em um curso de microcontroladores, utilizando as seguintes estratégias: treinamento prático sem o uso de um laboratório e uma aprendizagem cooperativa centrada no estudante. De forma semelhante as outras, esta aplicação também teve enfoque no desenvolvimento das competências transversais.

Para avaliar a repercussão da metodologia, foram comparados resultados de antes e depois da aplicação da PbBL, tendo sido feitas as seguintes perguntas: “*As atividades em classe me ajudaram a aprender sobre micro controladores e suas aplicações*”, apresentado na Figura 12; “*O professor conseguiu passar o conteúdo do curso de forma satisfatória para os estudantes*”, apresentada na Figura 13 e “*Eu recomendaria esse curso para outros estudantes*”, apresentada na Figura 14. Para cada uma dessas questões foram dadas opções variando de 1 – “Discordo totalmente” até 5 – “Concordo totalmente”.

Por último, foi feita uma questão referente ao número de horas gastas pelos estudantes com o estudo da disciplina, descontando os horários em classe, tendo os resultados expostos na Figura 12, que apresenta que depois da aplicação da PbBL mais horas de estudo foram dedicadas ao assunto.

Figura 12 - Resultado: As atividades em classe me ajudaram a aprender sobre micro controladores e suas aplicações (KIM, 2012).

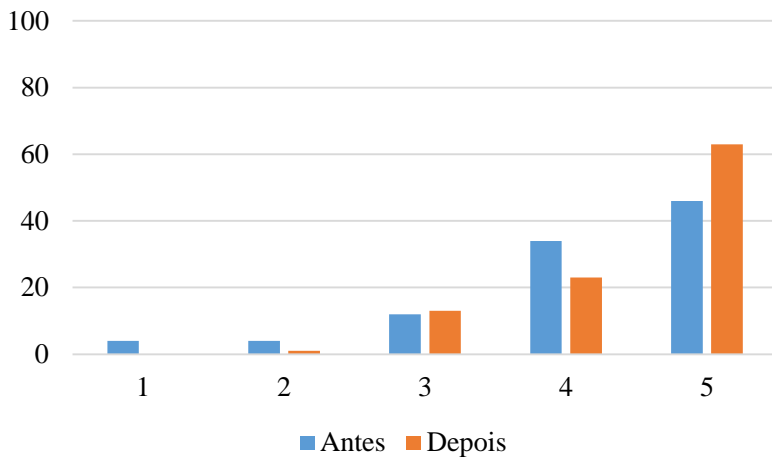


Fonte: adaptado de Kim (2012).

De forma geral, percebe-se que as aplicações da PbBL na Engenharia Elétrica são bem recepcionadas pelos estudantes, sendo utilizada inclusive no ensino não-presencial

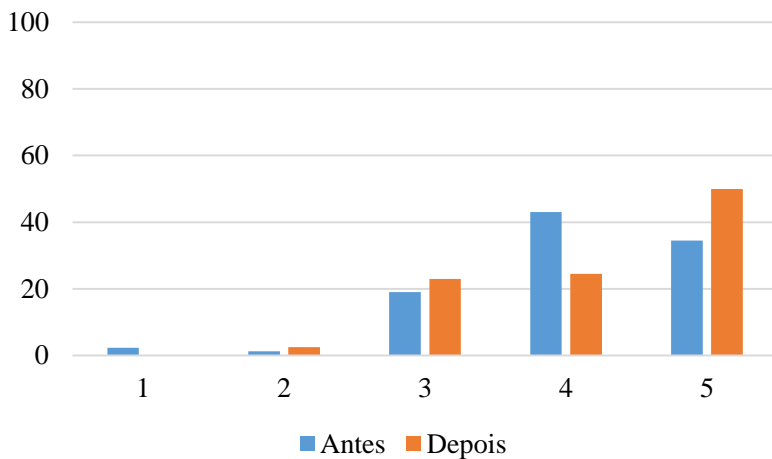
Os resultados mostrados nos trabalhos analisados levam a crer uma evolução na aprendizagem dos estudantes quando comparados aos métodos tradicionais. Contudo, novamente, os resultados quantitativos apresentados se baseiam tipicamente em Análise de Frequência, não expandindo os resultados estatísticos.

Figura 13 - Resultado: O professor conseguiu passar o conteúdo do curso de forma satisfatória para os estudantes (KIM, 2012).



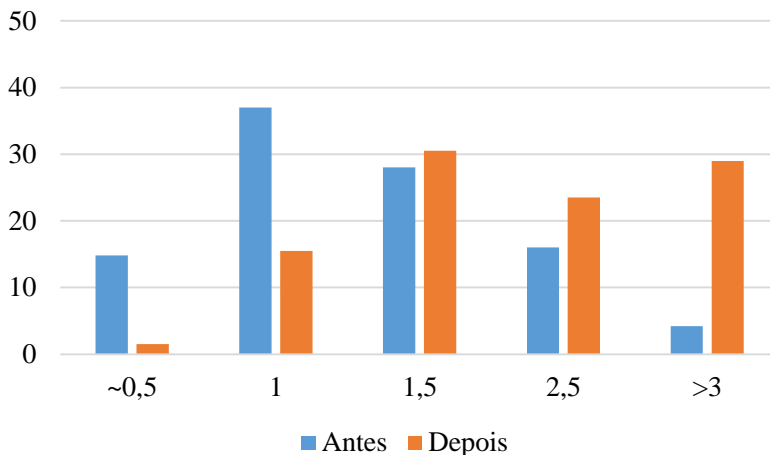
Fonte: adaptado de Kim (2012).

Figura 14 - Eu recomendaria esse curso para outros estudantes (KIM, 2012).



Fonte: adaptado de Kim (2012).

Figura 15 - Quantas horas por semana você passa estudando para esse curso tirando as horas em classe (KIM, 2012)?



Fonte: adaptado de Kim (2012).

### 2.5.3 Demasiado otimismo? (Considerações sobre a aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica)<sup>30</sup>

Da contextualização apresentada, tanto para a *Project-Based Learning* quanto para a *Problem-Based Learning* os resultados recentes na literatura envolvendo a Engenharia Elétrica tem se apresentado promissores. Os resultados das metodologias ativas vêm sendo amplamente divulgados em periódicos voltados exclusivamente para a educação em Engenharia Elétrica, como a *IEEE Transactions on Education*.

As dificuldades, contudo, também são apresentadas na literatura, de forma mais ampla do que apenas para a Engenharia Elétrica (RIBEIRO, 2011), principalmente relacionadas ao papel do docente, tais como: falta de controle sobre o cumprimento da ementa da disciplina e problemas não antecipados que podem surgir durante o desenvolvimento do projeto. O problema da ementa sendo o mais grave apontado pela literatura (GALLAGHER; STEPIEN, 1996), indicando que o foco em competências transversais das metodologias ativas pode criar lacunas nos conhecimentos conceituais da formação profissional.

<sup>30</sup> Subcapítulo baseado no trabalho de Ribeiro (2011).

O preenchimento ou não dessas lacunas estaria diretamente ligado à motivação do estudante (RYAN; DECI, 2000), pois o conteúdo coberto pelas metodologias ativas são parcialmente determinados pelos interesses dos estudantes (HERREID, 1998). Contudo, mesmo na falta do cumprimento das ementas, para Herreid (1998) o mais importante seria o foco no desenvolvimento pessoal, já que a maior partes das deficiências conceituais poderia ser remediada mais tarde em estudos individuais ou cursos especializados (RIBEIRO, 2011).

O receio dos professores em enfrentarem situações não previstas é também citado na literatura (GALLAGHER; STEPIEN, 1996; RIBEIRO, 2011) onde é reportado o aumento da vulnerabilidade dos professores ao serem desafiados com questões imprevistas oriundas da aprendizagem ativa. Fora o receio, mesmo os professores que acreditam no aspecto pedagógico das metodologias ativas são alertados por Watson e Grosh (2001) sobre a dificuldades da adaptação à metodologia, e a dificuldade de delegar o aprendizado aos estudantes.

Feitas essas considerações sobre os problemas que podem ocorrer relacionados às aplicações e tendo sido relacionados neste subcapítulo artigos contendo análises quantitativas da eficácia da metodologia – tipicamente limitados à análise de frequência (Quadro 14) – percebe-se uma lacuna na literatura referente à metodologia que demonstre a estrutura da formação do conhecimento diante da mesma. O que mostra a importância do objetivo central deste trabalho de modelar este relacionamento.

Quadro 14 - Relação dos autores listado pelo tipo de análise realizada de uma aplicação de PBL.

<b>Autor</b>	<b>Análise Realizada</b>
Lamar et al. (2010)	Análise de Frequência
Chu et al. (2008)	Análise de Frequência
Kumar et al. (2013)	Análise de Frequência
Brackenbury et al. (2010)	Análise de Frequência
Guzman Ramirez et al. (2016)	Análise de Frequência com grupo de controle

Fonte: o autor.

## 2.6 HIPÓTESES DE PESQUISA

Com o objetivo mister deste trabalho de compreender a formação do conhecimento ante a aplicação da PBL, levando em conta a humani-



zação do ensino, são sugeridas – com base no mirante teórico deste trabalho – hipóteses para investigar essas relações. As hipóteses formuladas e sua fundamentação são apresentadas a seguir:

**Hipótese A1:** A humanização é um fator comum da Autoestima;

Este pressuposto busca compreender a questão da satisfação pessoal do estudante consigo mesmo no aspecto humanista do ensino (KAHNEMAN, 2012; MORIN, 2001; NEISSER et al., 1996).

Supõe-se que a individualidade é aspecto importante na formação do engenheiro, responsável por alavancar ou não o seu processo de aprendizagem, suportada por aspectos relacionados à autoestima, à autorrealização e a carga emocional do estudante.

**Hipótese A2:** A humanização é um fator comum da Autorrealização;

Este pressuposto averigua a relação do estudante com a sua tendência de desenvolver as suas capacidades de crescimento (MASLOW, 1968; MORIN, 2001; RYAN; DECI, 2000).

Têm-se nessa hipótese outro aspecto relativo à suposição da importância da individualidade na formação do engenheiro.

**Hipótese A3:** A Humanização é um fator comum da Cooperação;

Este pressuposto tem como base as competências transversais do século 21, que prezam pela cooperação como parte integrante do mundo moderno (PELLEGRINO; HILTON, 2012; SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008).

Além disto, também se baseiam nas ideias de Ridley (2010) e Hayek (1945), autores que abordam a fragmentação dos conhecimentos existentes do mundo, e da importância da integração para o andamento da sociedade.

**Hipótese B:** A Humanização influi positivamente na PBL;

A humanização como alicerce da PBL se baseia nos conceitos apresentados por Bazzo (2016), que cita a importância de um engenheiro envolvido com os aspectos humanitários e sociais, que esteja integralmente envolvido na comunidade para que o conhecimento que adquira seja útil.

Esta hipótese também busca em Morin (2001 e 2003) sua confirmação, autor que aborda a importância do ensino da condição e da compreensão da identidade terrena ante o aprendizado. Pode-se ainda buscar novamente nas palavras e na pirâmide de Maslow (1969) a suposição de que o conhecimento será adquirido mais facilmente se todos os aspectos humanitários estiverem satisfeitos.

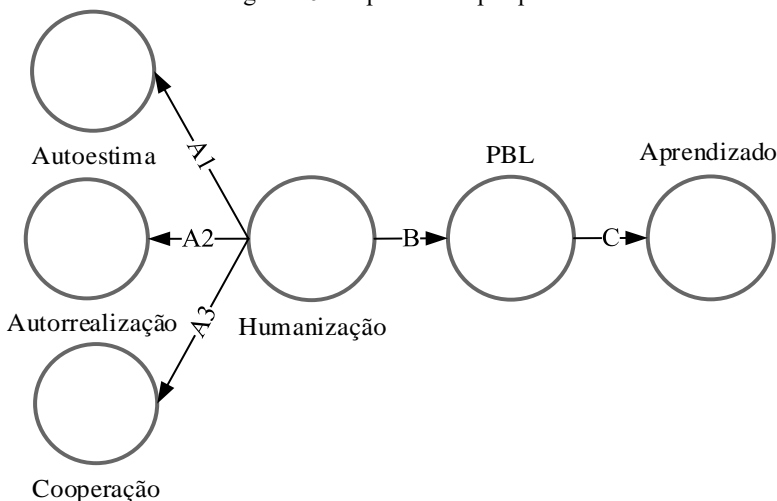
Fecha-se esta relação entre variáveis latentes nos preceitos de Toro (1988) que discorre sobre a complementação dos aspectos técnicos e humanos objetivando o treinamento de um estudante para a sociedade.

### **Hipótese C:** A PBL influi positivamente no Aprendizado;

Já no pressuposto que trata da influência positiva da aprendizagem na PBL, pode-se recorrer a todos os autores já citados anteriormente ao tratarem do assunto e mostrarem seus resultados satisfatórios ao aplicarem à PBL no contexto da Engenharia Elétrica (BRACKENBURY; PLANA; PEPPER, 2010; CHU; LU; SATHIAKUMAR, 2008; GUZMAN RAMIREZ et al., 2016; HOSSEINZADEH; HESAMZADEH, 2012; KIM, 2012; KUMAR; FERNANDO; PANICKER, 2013; LAMAR et al., 2010; POWELL; POWELL; WEENK, 2003; SEMAN; GOMES; HAUSMANN, 2016; THOMAS, 2000).

Relacionando-se essas hipóteses sugere-se que a PBL proposta e aplicada tem as suas raízes em uma base humanista, formada pela individualidade (Autoestima e Autorrealização) e pela cooperação entre os estudantes, e assim, sustentada por essa Humanização a PBL, por sua vez, serve como base para o Aprendizado, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Hipóteses de pesquisa.



Fonte: o autor.

## 2.7 *HOMO QUAERERE*: O HOMEM QUE PESQUISA (CONSIDERAÇÕES PARCIAIS)

O entendimento dos aspectos citados neste mirante teórico são importantes para compreender as dificuldades relacionadas à docência diante desses novos aspectos agregados à formação do engenheiro (DUDERSTADT, 2010; SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008).

Nesse contexto cabe analisar o trabalho de Cargnin-Stieler (2014) a respeito de um levantamento feito em 16 programas de pós-graduação em Engenharia Elétrica do Brasil (todos com conceito 5 ou maior definidos pela CAPES), foram buscadas disciplinas que pudessem, de certa forma, preparar o pós-graduando para uma futura incursão na docência.

Em 31,25% destes programas foi identificada uma disciplina intitulada “Seminários” que incita os estudantes a, sob a orientação de um professor, investigar um conteúdo e apresentar os resultados ao grande grupo, considerou-se que esta disciplina pode desenvolver a capacidade de comunicação, organização e comunicação dos estudantes, imprescindíveis na docência (CARGNIN-STIELER, 2014). Outra disciplina identificada, também em 31,25% dos programas analisados, foi o “Estágio de Docência”, atividade segundo a CAPES obrigatória para bolsistas desde

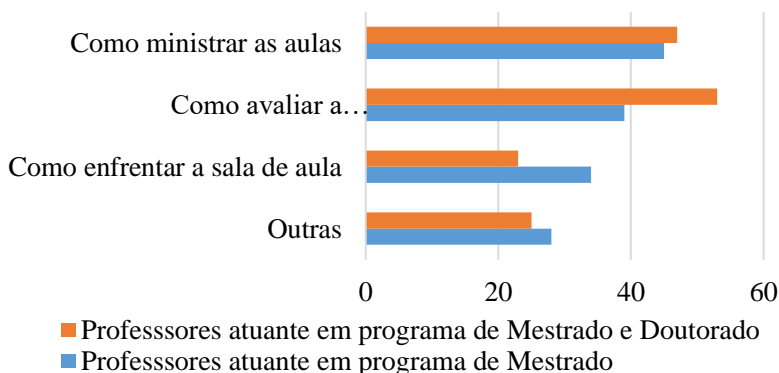
1999. Nessa disciplina o estudante deve auxiliar um professor em disciplinas de graduação de forma a obter experiência didática (CARGNIN-STIELER, 2014).

Na pesquisa ainda foram salientadas a disciplina de “Metodologia do Ensino Superior” ofertada pelo programa de pós-graduação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e a disciplina de “Ensino de Engenharias de Teleinformática” ofertada pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

O trabalho ainda submeteu questionários a professores dos programas de pós-graduação, em que perguntou-se sobre suas principais angústias e inquietações no início da carreira do magistério, conforme apresentado na Figura 17. Os resultados da pesquisa realizada por Cargnin-Stieler (2014) reafirmam a necessidade de treinar os pós-graduandos em docência, seja por meio de Estágios em Docência ou de outras ações preparatórias.

As mazelas relacionadas à docência na educação superior – mais especificamente as relacionadas ao ensino tecnológico – são recorrentes na literatura (CORREIA; CHENG, 2000; GREENE, 2015; KOURGANOFF, 1990; SANTANA, 2009) e por isso, no intuito de amenizar as dificuldades do professor de lecionar para estudantes advindo de um mundo conectado (CASTELLS, 2010) a proposta mister deste trabalho de compreender a aprendizagem ativa como complemento à sala de aula cartesiana se torna importante.

Figura 17 - Principais dificuldades e/ou angústias encontradas pelos professores no início da atuação docente.



Fonte: adaptado de Cargnin-Stieler (2014).

No modelo interestruturado de ensino-aprendizagem no qual o estudante já possui acesso direto ao conhecimento, o advento das tecnologias e o fascínio por elas exercido torna ainda mais difícil o papel do educador, que agora precisa competir pela atenção dos estudantes (MORAN, 2004)

Seria a evolução do *homo sapiens*, o homem que sabe, para o *homo quaerere*<sup>31</sup>, o homem que procura, o homem que busca, ou, de forma geral, o homem que sabe utilizar ferramentas de busca. Neste aspecto, com todo o conhecimento literalmente à mão – podendo ser acessado de um dispositivo móvel qualquer – pode tornar-se difícil estimular o estudante diante de métodos de ensino tradicionais.

O que se busca inferir a partir dessas considerações é que com todo esse conteúdo disponível de forma tão rápida e prática, o desafio – cada vez mais – é fazer com que os estudantes, principalmente o das novas gerações, se motivem diante do processo de ensino-aprendizagem.

---

## FALANDO SOBRE EDUCAÇÃO, FILOSOFIA E ENGENHARIA

*Além de se tornar um ótimo engenheiro também se tornou um excelente cidadão, pois sua formação superior enaltecia a pertinência da engenharia na sociedade.*

*O conteúdo foi significativo, por isso fez diferença no aprendizado do estudante.*

*Não foi um mero espectador, ante sua aprendizagem ele assumiu o papel de protagonista.*

---

<sup>31</sup> Do latim: aquele que busca, que procura.

Para modelar a formação do conhecimento no contexto da aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica, foi utilizada análise estatística multivariada, que consiste em um conjunto de técnicas utilizadas em situações em que diversas variáveis são investigadas ao mesmo tempo, gerando medidas múltiplas sobre o objeto em investigação. Quanto maior o número de variáveis envolvidas no estudo, mais complexa se torna a análise do problema por meio da estatística univariada (MINGOTI, 2005; ZANELLA et al., 2010).

Com base em um questionário desenvolvido para avaliar a metodologia proposta neste trabalho, busca-se investigar a repercussão da aprendizagem ativa com os estudantes em um curso de Engenharia Elétrica a fim de avaliar a influência do processo educacional nos mesmos.

Para a análise quantitativa dos dados provindos dos questionários aplicados, três métodos de análise multivariada foram utilizados: Análise de Frequência, Análise de Componentes Principais (ACP)<sup>32</sup> e Modelagem de Equações Estruturais (MEE), uma técnica multivariada de segunda geração que objetiva testar hipóteses de relacionamento entre variáveis, modelando a estrutura a que se propõe analisar (HAIR; RINGLE; SARSTEDT, 2011; NACHTIGALL et al., 2003).

Na análise de frequência os dados de cada variável (questão) são examinados individualmente, por meio dela é possível identificar as respostas e os percentuais acumulados associadas a cada variável (HAIR et al., 2009). Já a ACP e a MEE possibilitam a divisão do questionário (instrumento avaliativo) em fatores (dimensões) e a identificação das variáveis de maior representatividade, de forma a facilitar a interpretação dos resultados (HAIR et al., 2009).

---

<sup>32</sup> Apesar da Análise de Componentes Principais não poder ser considerada um método verdadeiro de análise fatorial (COSTELLO, A.; OSBORNE, J., 2005). Contudo, seus princípios se enquadram melhor com a técnica de Modelagem de Equações Estruturais utilizada neste trabalho (PLS-PM, baseada em variância), pois busca maximizar a variância das variáveis observáveis (HAIR JR et al., 2014; SUHR, 2005).

Segundo Figueiredo Filho e Silva Júnior (2010), para que um questionário possua boa adequação à análise em fatores, certos valores devem ser respeitados, conforme o Quadro 15.

Quadro 15 - Adequação à análise fatorial.

Mensuração	Variáveis contínuas e discretas
Amostra	Amostras mínimas entre 50 e 100 casos; razão entre o número de observações e a quantidade de variáveis igual ou superior a cinco.
Correlação	Maior parte dos coeficientes de correlação deve apresentar valores acima de 0,30.
KMO	Quanto maior melhor, tendo 0,50 como o patamar mínimo de adequabilidade
BTS	Significância < 0,05

Fonte: Figueiredo e Silva Junior (2010).

Sendo:

**BTS (Teste de Esfericidade de Bartlett):** examina a hipótese nula de que as variáveis não sejam relacionadas na população pesquisada (SNEDECORM; COCHRAN, 1983). A análise fatorial somente deve ser aplicada ao teste se a hipótese nula for rejeitada. Pode ser calculado conforme (1) para uma amostra com  $n$  observações e  $p$  variáveis, sendo  $cor_{ij}$  a sua matriz de correlação.

$$\chi^2 = -(n-1 - \frac{2p+5}{6}) \ln |cor_{ij}| \quad (1)$$

O teste de esfericidade de Barlett segue uma distribuição com graus de liberdade<sup>33</sup> definidos por (2).

$$df = \frac{p(p-1)}{2} \quad (2)$$

**KMO (Kaiser-Meyer-Olkin):** Kaiser (1970) introduziu um método de mensuração da adequação das amostras (*Measure of Sampling Adequacy* – MAS) de matrizes de dados de fatores analíticos. Mais tarde

<sup>33</sup> Graus de liberdade representam o número de determinações independentes subtraindo-se o número de parâmetros estatísticos a serem avaliados nas observações.

Kaiser e Rice (1974) aprimoraram esse conceito. O método ficou conhecido na literatura como índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), e é uma função dos elementos quadrados da matriz imagem comparado com os quadrados das correlações originais. Pode ser calculado como em (3).

$$KMO_j = \frac{\sum_{i \neq j} cor_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} cor_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} u_{ij}^2} \quad (3)$$

Sendo  $cor_{ij}$  a matriz de correlação e  $u_{ij}$  a matriz parcial de covariância.

O uso da Análise de Componentes Principais seguido pela Modelagem de Equações Estruturais se justifica pela primeira não ser adequada para testar-se hipóteses e/ou teorias a respeito de uma amostra. Indica-se que assim que um instrumento de pesquisa for desenvolvido utilizando ACP deve-se partir para a MEE para responder às perguntas, relativas, por exemplo, ao comportamento de subgrupos dentro de uma população (caso específico deste trabalho, que teve sua aplicação ao longo de seis semestres) (COSTELLO, A.; OSBORNE, J., 2005).

A análise de subgrupos e segmentações dentro da MEE é importante para relacionar a evolução (ou não) do projeto diante das aplicações, identificando entre elas possíveis similaridades que possam dar respostas quanto à maneiras de melhorar o processo (LAMBERTI; ALUJA; SANCHEZ, 2016; VINZI, 2008).

Por fim, é proposta uma modificação no algoritmo da PLS-PM para incluir no modelo as difusidades da condição humana por meio de regressão *fuzzy* (TANAKA; HAYASHI; WATADA, 1989; ZADEH, 1973), fator considerado importante em um trabalho que discorre sobre a humanização do ensino em Engenharia Elétrica.

### 3.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais (ACP), também conhecida como PCA (*Principal Component Analysis*), é uma técnica de identificação de padrões em dados, salientando suas similaridades e diferenças (DAMÁSIO, 2012). No objetivo desta tese, elas buscam identificar variáveis latentes.

De forma geral as variáveis latentes são constructos teóricos não observáveis (ou seja, não mensurados por meio de um indicador em um



questionário) mas que são importantes na construção do modelo, e normalmente englobam variáveis observáveis. Por exemplo, considerando um questionário que possua as seguintes questões, ou, variáveis observáveis:

- Ao trabalhar em grupo acredito que a cooperação ajudou a desenvolver novas ideias.
- Ao trabalhar em grupo aprecio a união que se cria entre as pessoas.
- Ao trabalhar em grupo costumo reconhecer as competências de meus colegas.

Estes 3 indicadores possuem o mesmo objetivo comum: mensurar e explicar o mesmo constructo, a variável latente<sup>34</sup> cooperação. Definidos os objetivos da ACP, ela é obtida conforme:

- Dado um conjunto de dados  $X$  contendo as  $n$  observações e  $p$  variáveis. Uma matriz de dimensões  $n \times p$ ;
- Calcula-se a matriz de correlação ou de covariância para o conjunto de dados. Uma matriz de dimensões  $p \times p$ ;
- A partir da matriz obtida no passo anterior, calculam-se os autovalores e o autovetores de  $p$  componentes principais;
- As cargas fatoriais das variáveis são calculadas como em (4).

$$\lambda = \text{autovetores} \sqrt{\text{autovalores}} \quad (4)$$

Na ACP um dos passos principais é a retenção de componentes, pois uma extração incorreta pode impossibilitar a correta interpretação dos dados.

Contudo, sobre a retenção dos fatores, é preciso alertar que a Análise dos Componentes Principais não faz parte das técnicas de Análises Fatoriais Exploratórias<sup>35</sup>. As principais diferenças entre as duas técnicas são apresentadas no Quadro 16.

---

<sup>34</sup> Enquanto alguns metodologistas distinguem entre variáveis latentes, constructos, componentes, composições e fatores, este trabalho segue a linha de Hair et al., (2017) e identifica como constructos/variáveis latentes quaisquer variáveis conceituais incluídas na modelagem de equação estruturais.

<sup>35</sup> A Análise Fatorial Exploratória (AFE) consiste em um conjunto de técnicas estatísticas que objetivam obter uma estrutura fatorial adequada a um conjunto de dados. Nela tenta-se determinar o número e a natureza das variáveis latentes (fatores) que

Quadro 16 - ACP x AFE.

<b>Análise dos Componentes Principais</b>	<b>Análise Fatorial Exploratória</b>
Busca uma quantidade máxima de variância das variáveis observáveis.	Busca uma variância comum nos dados
Durante a análise decompõe a matriz de correlação.	Durante a análise decompõe a matriz de correlação ajustada.
Preenche com “1” as diagonais da matriz de correlação.	Diagonais da matriz de correlação ajustada com fatores únicos.
Minimiza a soma da distância perpendicular quadrada para os eixos dos componentes.	Estima os fatores que influenciam as respostas em variáveis observáveis.
Os escores dos componentes são uma combinação linear das variáveis observadas ponderadas pelos coeficientes dos autovetores.	Os escores dos componentes são combinações lineares dos fatores subjacentes e originais

Fonte: Suhr (2005).

Conforme salientado por Damásio (2012), a ACP se baseia apenas na correlação linear das variáveis observáveis, não diferenciando as variâncias comuns entre os itens das variâncias específicas dos próprios itens, gerando um índice que inclui ambos os valores. Enquanto na AFE apenas a variância comum é considerada.

Para a extração de componentes é comumente utilizado na literatura o critério de Kaiser, que sugere que apenas componentes com autovalores (variância dos componentes principais) maiores que “1” devem ser considerados, e portanto extraídos, já que um componente com baixo autovalor tem pouca contribuição na explicação da variância das variáveis originais (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2010).

Outro método comum é por meio do “*scree plot*”, um gráfico utilizado para mostrar os autovalores associados com um conjunto de dados em ordem descendente *versus* o número de componentes. É utilizado para visualizar qual número de dimensões explica o maior número de variabilidade nos dados. É dito que o padrão ideal de um “*scree plot*” é uma curva íngreme que tende a uma linha quase reta. A interpretação deste método requer familiaridade com os dados analisados para escolher um número de dimensões pertinente.

---

melhor representa um conjunto de variáveis observadas (DAMÁSIO, 2012; FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2010).

Entre os usos da ACP na literatura, Bido et al. (2016) apontam a possibilidade do seu uso para testar a unidimensionalidade dos componentes. Ou seja, a partir de uma variável latente definida *a priori* por meio da análise da literatura, procura-se identificar se ela pode ser representada por um único componente. Para tanto, deseja-se que o autovalor do primeiro componente extraído seja relativamente maior que o segundo.

Neste trabalho o uso da ACP será referente ao teste de unidimensionalidade dos constructos extraídos da literatura, ou seja, os constructos serão avaliados de forma a constatar se podem ser explicados como um componente único, ou se carecem de divisão (BIDO; MANTOVANI; COHEN, 2016). Para tanto, uma técnica conhecida como Análise Paralela será utilizada na Análise dos Componentes Principais.

### 3.1.1 Análise Paralela

Horn (1965) propôs um método de retenção de variáveis baseado na geração de variáveis aleatórias não relacionadas para determinar a quantidade de valores a serem retidos. Este método é conhecido como Análise Paralela (AP) ou *Parallel Analysis* (PA).

No método os autovalores da matriz de correlação do conjunto de dados originais são comparados com autovalores provindo de conjuntos de dados aleatórios não correlacionados, replicados por diversas vezes em uma simulação de Monte Carlo.

Na proposta inicial os autovalores originais eram comparados com os valores médios da simulação de Monte Carlo, fato que mais tarde passou a ser substituído pelo valor de 95% da distribuição dos autovalores (GLORFELD, 1995).

O embasamento da Análise Paralela tem origem na observação de Horn (1965) de que multicolinearidade pode ocorrer devido a erros de amostragem e vieses de mínimos quadrados mesmo em dados não correlacionados. Desse modo, comparar os autovalores dos dados em que se espera uma correlação com os autovalores dos dados aleatórios não correlacionados, reduz a inflação do erro devido a erro de amostragem.

### 3.2 PARTIAL LEAST SQUARES PATH MODELING

A modelagem de equações estruturais (uma análise multivariada de segunda geração) é um conjunto de técnicas que permite avaliar, simultaneamente, a relação entre as variáveis observáveis (indicadores) e as variáveis latentes, isso se dá por meio da regressão multivariada das variáveis em que se deseja verificar a influência. O papel de uma variável

(se ela influencia e/ou é influenciada por outra) deve ser definido por meio da análise teórica do objeto de estudo (HAIR; RINGLE; SARSTEDT, 2011; WONG, 2013).

Para a modelagem das equações estruturais foi utilizado o algoritmo PLS-PM (*Partial Least Squares Path Modeling*), que permite estimar relações de causa-efeito entre variáveis latentes ao mesmo tempo em que busca maximizar o total de variância explicada das variáveis. Seu uso é recomendado em estudos de aspecto exploratório (HAIR; RINGLE; SARSTEDT, 2011).

A escolha por este método é adequada quando o propósito da pesquisa se encontra entre a necessidade de testar uma teoria e a de prever padrões, conforme apresentado na Figura 18. Indica-se que se o propósito da pesquisa for justamente preditivo o uso de Redes Neurais Artificiais (RNA) é mais adequado, enquanto que se o propósito da pesquisa for puramente confirmatório, modelagem de equações estruturais baseadas em covariância<sup>36</sup> (CB-SEM) é mais adequada (HENSELER; RINGLE; SINKOVICS, 2009).

O PLS, por outro lado, concentra-se na previsão e, como tal, está preocupado com a generalização, que é a capacidade de prever os dados da amostra, ou preferencialmente os dados fora da amostra (Tradução livre<sup>37</sup> de Hair et al., 2017, p.4).

Em estudos realizados por Chumney (2012) mostrou-se a eficácia do PLS-PM em comparação aos métodos habituais como o *Maximum Likelihood* (baseado em covariância) e a outros métodos baseados em variância, como o GSCA (*Generalized Structured Component Analysis*). Além disso, pesquisas recentes comprovam que a técnica vem se consolidando<sup>38</sup> cada vez mais em estudos exploratórios de ciências sociais (HENSELER; HUBONA; RAY, 2016).

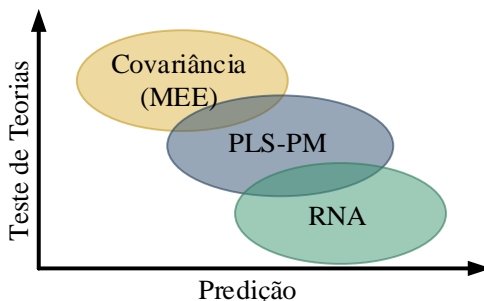
---

<sup>36</sup> Modelagens de equações estruturais baseadas em covariância buscam estimar os parâmetros do modelo de modo que a discrepância entre a matriz de covariância da amostra e a matriz de covariância implícita do modelo seja minimizada; modelagem de equações estruturais baseadas em variâncias buscam maximizar o total de variância explicada pelas variáveis do modelo (HAIR; RINGLE; SARSTEDT, 2011).

<sup>37</sup> **Texto original:** PLS on the other hand focuses on prediction, and as such, is concerned with generalization, which is the ability to predict sample data, or preferably out-of-sample data (HAIR et al., 2017, p. 4)

<sup>38</sup> É importante salientar que existem dois modelos prioritários na modelagem de equações estruturais: modelos compostos (*composit-models*) e de fator comum (*com-*

Figura 18 - Escolha da abordagem diante do propósito da análise.



Fonte: adaptador de Henseler; Ringle; Skinkovics (2009).

Para melhor compreensão do funcionamento da PLS-PM apresenta-se nessa seção o algoritmo do método por meio da explicação proposta por Sanchez (2013).

Todo modelo de PLS-PM é composto por dois submodelos, um definido como *inner model*, definido como estrutural, e o *outer model*,

*mon factor models*). Na CB-SEM a variância é dividida entre variância comum (estimada a partir variância que o item divide com outros indicadores na medição de um constructo) e variância única (que inclui o erro), e o processo de cálculo é iniciado estimando a covariância entre um conjunto de variáveis, resultado usado nas soluções derivadas, definindo o modelo de fator comum. O método supõe que o conjunto de variâncias de um indicador pode ser totalmente explicado pela existência de uma variável não-observada (um fator comum entre os indicadores) e pela existência de um erro aleatório (SARSTEDT et al., 2016).

Em outra vertente, a PLS-PM é um método de modelos compostos, ou seja, independentemente da medição definida pelo operador, calcula variáveis latentes a partir de um conjunto de indicadores combinados, aproximação considerada pelo método como suficiente para compreender os fenômenos sob investigação. Deste modo a PLS-PM não distingue a variância dos itens entre única e comum e objetiva mensurar a variância total dos indicadores ao invés de apenas mensurar a correlação entre eles, fazendo com que as relações do modelo considerem toda a variância: única, comum e de erro (SARSTEDT et al., 2016).

Modelos considerados de fator comum devem preferencialmente ser estimados utilizando métodos baseados em covariância ou algoritmos modificados da PLS-PM, tais como a PLSc, que ainda não foi extensivamente testada na literatura (DIJKSTRA; HENSELER, 2015; HAIR et al., 2017b; RIGDON, 2016; SARSTEDT et al., 2016). Desconhecida a procedência da população (fator comum ou composta), sugere-se que a PLS-PM possa ser o método mais adequado, por ser totalmente adequado à população composta e gerar resultados considerados satisfatórios (pouco viés) para populações de fator comum (REINARTZ; HAENLEIN; HENSELER, 2009; SARSTEDT et al., 2016).

definido como de medição. O estrutural diz respeito as relações entre as variáveis latentes, enquanto o modelo de medição se refere as relações entre uma variável latente e suas variáveis observáveis (SANCHEZ, 2009, 2013).

Dadas  $p$  variáveis (perguntas de um questionário) mensuradas por  $n$  observações (indivíduos respondentes), considera-se que essas variáveis podem ser divididas em  $J$  blocos. Dessa forma:

- $\mathbf{X}$  é o conjunto de dados contendo as  $n$  observações e  $p$  variáveis. Uma matriz de dimensões  $n \times p$ .
- $\mathbf{X}$  pode ser dividido em  $J$  blocos, mutuamente exclusivos,  $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \mathbf{X}_3, \dots, \mathbf{X}_J$ .
- Os blocos  $\mathbf{X}_j$  tem  $K$  variáveis, assim:  $\mathbf{X}_{j1}, \mathbf{X}_{j2}, \dots, \mathbf{X}_{jK}$ .
- Cada um dos blocos  $\mathbf{X}_j$  é associado como uma variável latente  $LV_j$ . Sendo  $LV_j$  apenas uma representação abstrata não observada.
- A estimação de uma variável latente, também definida como *escore*, é representada por  $LV_j = Y_j$ .

### 3.2.1 Modelo Estrutural

Sobre as especificações do modelo estrutural, existem três principais aspectos que devem-se considerar sobre as relações internas.

**1) Relações Lineares:** O primeiro aspecto a ser considerado é o fato de que todas as relações do modelo estrutural são tratadas como lineares, que podem ser expressadas pela equação (5).

$$LV_j = \beta_0 + \sum_{i \rightarrow j} \beta_{ji} LV_i + erro_j \quad (5)$$

O subscrito  $i$  de  $LV_i$  faz referência a todas as variáveis latentes (dimensões) que supostamente devem predizer  $LV_j$ . Por sua vez os coeficientes  $\beta_{ji}$  são os coeficientes do caminho e representam a força e direção da relação entre  $LV_i$  e  $LV_j$ .  $\beta_0$  é o termo de interseção e o  $erro_j$  diz respeito aos resíduos.

**2) Modelos Recursivos:** O segundo aspecto a ser considerado é que o sistema de equações deve necessariamente ser recursivo, ou seja, os caminhos formados pelo modelo interno não podem formar um *loop*.

**3) Especificação da Regressão:** Já o terceiro aspecto a ser considerado é chamado de especificação do preditor, um termo para expressar a ideia de regressão linear. As relações lineares são concebidas da perspectiva de uma regressão padrão, conforme a equação (6).

$$E(LV_j | LV_i) = \beta_{0i} + \sum_{i \rightarrow j} \beta_{ji} LV_i \quad (6)$$

A partir dessa equação busca-se compreender o máximo possível os valores da resposta  $LV_j$  determinada pelos seus preditores  $LV_i$ . Entretanto, deve-se levar em consideração a equação (7) que implica que a dimensão  $LV_j$  não é relacionada ao erro residual.

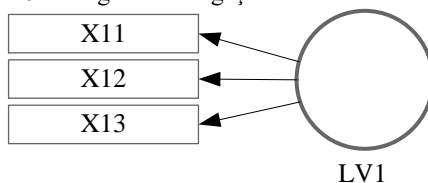
$$\text{cov}(LV_j, \text{erro}_j) = 0 \quad (7)$$

### 3.2.2 Modelo de Mensuração

No modelo de mensuração, o modelo externo, que diz respeito as variáveis latentes e seus indicadores (perguntas de um questionário, por exemplo) deve-se levar em conta que existem duas opções de análise: utilizando-se blocos reflexivos ou blocos formativos.

**1a) Modo Reflexivo:** É o tipo de medição mais comum, em que a variável latente é considerada como a causa dos seus indicadores. Chama-se de modelo reflexivo por inferir que os indicadores estão refletindo a dimensão. Na Figura 19 tem-se como exemplo a variável latente  $LV_j$  sendo medida junto de três indicadores, no caso do modelo reflexivo as setas partem da dimensão.

Figura 19 - Diagrama de ligação de um modelo reflexivo.

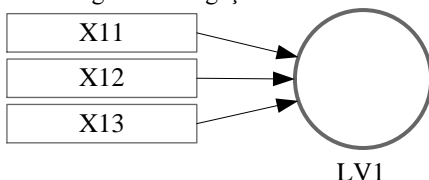


Fonte: adaptado de Sanchez (2013).

**1b) Modo Formativo:** No segundo tipo de medição os indicadores são considerados como sendo a causa da variável latente. Chama-se de modelo formativo porque os indicadores “formam” a dimensão. Na Figura

20 a variável latente LV1 é mensurada no modelo formativo, neste caso as setas partem dos indicadores.

Figura 20 - Diagrama de ligação de um modelo formativo.



Fonte: adaptado de Sanchez (2013).

Também, no modelo de mensuração, dois outros aspectos devem ser considerados.

**2) Relações Lineares:** Assim como no modelo interno, o modelo de mensuração também é considerado como linear, na equação (8) apresenta-se o modelo reflexivo enquanto na equação (9) o modelo formativo é apresentado.

$$X_{jk} = \lambda_{0,jk} + \lambda_{jk}LV_j + erro_{jk} \quad (8)$$

$$LV_j = \lambda_{0,j} + \lambda_{jk}X_{jk} + erro_j \quad (9)$$

Os coeficientes de  $\lambda_{jk}$  são chamados de *loadings* (cargas fatoriais) enquanto  $\lambda_0$  é o termo de interseção.

**3) Especificação da Regressão:** Para o modelo externo também existe o conceito da especificação do preditor, concebendo as relações de uma perspectiva de regressão padrão. As equações (10) e (11) apresentam respectivamente os métodos de regressão para o modelo reflexivo e formativo.

$$E(X_{jk} | LV_j) = \lambda_{0,jk} + \lambda_{jk}LV_j \quad (10)$$

$$E(LV_j | X_{jk}) = \lambda_{0,j} + \lambda_{jk}X_{jk} \quad (11)$$

Novamente essas equações são responsáveis por requerer o máximo entendimento possível das variáveis em função dos seus preditores, sejam elas latentes ou indicadores.



### 3.2.3 Relações de Peso

Como citado anteriormente, de forma geral as variáveis latentes  $LV_j$  são representações abstratas, formas de representar um conceito, e não são mensuradas com dados de questionários, como por exemplo, por meio de uma avaliação de satisfação. As relações de peso servem para suprir essa ligação entre a abstração e a materialização da dimensão.

As variáveis latentes são estimadas como uma combinação linear de seus indicadores, de forma geral uma  $LV_j$  estimada é chamada de escore, denotado como  $Y_j$ , conforme equação (12), sendo  $w_{jk}$  os pesos fatoriais.

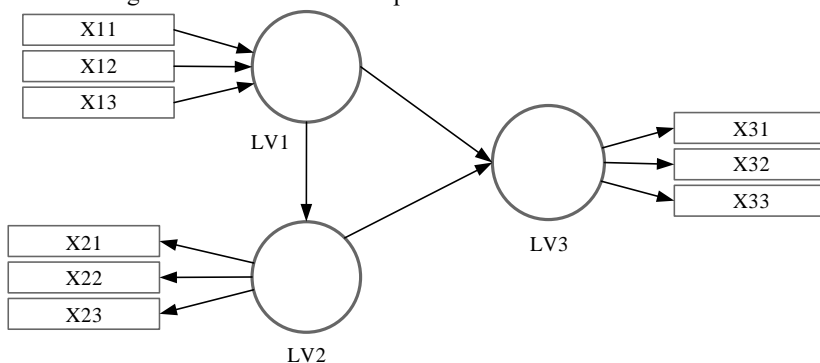
$$LV_j = Y_j = \sum_k w_{jk} X_{jk} \quad (12)$$

Desse modo, as variáveis latentes são calculadas como a soma da carga de seus indicadores. Porém, não se pode confundir a variável abstrata  $LV_j$  com seu score  $Y_j$ , apesar de elas se referirem ao mesmo constructo, esta última é utilizada para questões práticas apenas.

### 3.2.4 Modelo Operativo

Para melhor compreender a PLS-PM será utilizado um modelo contendo três variáveis latentes, conforme Figura 21, sendo as dimensões as seguintes:  $LV_1$ ,  $LV_2$  e  $LV_3$ .

Figura 21 - Modelo auxiliar para entendimento da PLS-PM.



Fonte: adaptado de Sanchez (2013).

Cada uma dessas variáveis latentes está associada a três indicadores sendo  $LV_1$  e  $LV_3$  reflexivas enquanto  $LV_2$  é formativa. Em (13) tem-se a equação a ser utilizada para os blocos reflexivos, enquanto em (14) apresenta-se a equação para os blocos formativos.

$$X_{1k} = \lambda_{1k} LV_1 + erro \quad k = 1, 2, 3 \quad (13)$$

$$LV_2 = \sum_k \lambda_{jk} X_{2k} + erro \quad k = 1, 2, 3 \quad (14)$$

Para as relações estruturais (internas) utilizam-se duas equações. A primeira na qual  $LV_2$  depende de  $LV_1$  conforme (15) e uma segunda em que se tem  $LV_3$  dependendo de  $LV_1$  e  $LV_2$ , apresentada em (16).

$$LV_2 = \beta_{21} LV_1 + erro \quad (15)$$

$$LV_3 = \beta_{31} LV_1 + \beta_{32} LV_2 + erro \quad (16)$$

Para efeitos de cálculos, supõe-se que todas as variáveis estão padronizadas, com média 0 e variância de 1, dessa forma pode-se ignorar os termos  $\beta_0$  e  $\lambda_0$  das equações.

**1) Estágio 1:** O primeiro estágio do algoritmo PLS-PM diz respeito ao cálculo dos pesos estimar os escores das variáveis latentes. Para tanto, os seguintes passos realizados:

Início: Definir valores iniciais arbitrários de pesos fatoriais (normalizados para obter valores padronizados das dimensões);

1. Calcular a aproximação externa das variáveis latentes;
2. Obter os valores dos pesos internos;
3. Calcular a aproximação interna das variáveis latentes;
4. Calcular os novos valores dos pesos fatoriais.

Repetir os passos 1 até 4 até que exista convergência dos pesos fatoriais.

Para compreender essa relação de pesos, é importante compreender que o escore de cada variável latente é calculado como a soma ponderada de seus indicadores, conforme apresentado em (17).

$$LV_j = Y_j = \sum_k \tilde{w}_{jk} X_{jk} \quad (17)$$

- **Passo 0:** Valores arbitrários de pesos fatoriais

Para iniciar o processo iterativo é necessário associar valores arbitrários aos *pesos fatoriais*. Para facilitar a compreensão todos os valores são iniciados com pesos igual a um:  $\tilde{w}_{jk} = 1$ , conforme (18).

$$\begin{aligned}\tilde{w}_1 &= (\tilde{w}_{11} = 1, \tilde{w}_{12} = 1, \tilde{w}_{13} = 1) \\ \tilde{w}_2 &= (\tilde{w}_{21} = 1, \tilde{w}_{22} = 1, \tilde{w}_{23} = 1) \\ \tilde{w}_3 &= (\tilde{w}_{31} = 1, \tilde{w}_{32} = 1, \tilde{w}_{33} = 1)\end{aligned}\tag{18}$$

Deve-se notar que os pesos fatoriais  $\tilde{w}_{jk}$  devem ser escalados para que os escores ( $Y_j$ ) tenham variação unitária<sup>39</sup>.

- **Passo 1:** Aproximação externa

Com os valores de  $\tilde{w}_k$  calculados chega-se a aproximação externa, que consiste em expressar a variável latente como a soma do peso dos seus indicadores, que pode ser descrita como apresentado em (19).

$$Y_k \propto X_k w_k\tag{19}$$

Decompondo (19) para cada variável latente, chega-se na equação (20).

$$\begin{aligned}Y_1 &\propto 1X_{11} + 1X_{12} + 1X_{13} \\ Y_2 &\propto 1X_{21} + 1X_{22} + 1X_{23} \\ Y_3 &\propto 1X_{31} + 1X_{32} + 1X_{33}\end{aligned}\tag{20}$$

Assumindo que o sinal de proporcionalidade ( $\propto$ ) indica que cada escore  $Y_j$  depende de seus indicadores ( $X_{jk}$ ) embora a relação não seja exata, para ser conciso com a indicação de seus escores, é necessário seguir a equação (21).

$$Y_j = \pm f_i \sum_k w_{jk} X_{jk}\tag{21}$$

---

<sup>39</sup> Os parâmetros de normalização dos pesos fatoriais serão discutidos no subcapítulo 3.2.5.

O símbolo “ $\pm$ ” indica um fenômeno que pode acontecer quando calcula-se os escores: uma ambiguidade de sinal, enquanto  $f_i$  é um escalar que objetiva padronizar o valor de  $Y_j$  (variância unitária). O fenômeno de ambiguidade do sinal ocorre quando nem todos os indicadores de uma dimensão compartilham o mesmo sinal de correlação, nesse caso, ao invés de todos os indicadores positivamente correlacionados, pode ocorrer de que ao menos um seja negativamente correlacionado.

Para evitar esse tipo de problema em decidir quando se usar ou não um sinal negativo, utiliza-se uma aproximação com o objetivo de corrigir a ambiguidade de sinal, a solução consiste em escolher o sinal em que a maioria dos indicadores ( $X_{jk}$ ) está positivamente correlacionada com  $Y_j$ , conforme apresentado na equação (22).

$$\text{sign}\left[\sum_k \text{sign}\{\text{cor}(X_{jk}, Y_j)\}\right] \quad (22)$$

Pode-se então expressar os valores padronizados de  $LV$  como em (23), em que os pesos fatoriais de  $\tilde{w}_{jk}$  com o sinal corrigido e padronizados para a variância unitária passam a ser representados por  $w_{jk}$ .

$$Y_j = \sum_k w_{jk} X_{jk} \quad (23)$$

Com os pesos fatoriais  $w_{jk}$  definitivos, os escores das variáveis latentes passam a ser representados conforme a equação (24).

$$\begin{aligned} Y_1 &= w_{11}X_{11} + w_{12}X_{12} + w_{13}X_{13} \\ Y_2 &= w_{21}X_{21} + w_{22}X_{22} + w_{23}X_{23} \\ Y_3 &= w_{31}X_{31} + w_{32}X_{32} + w_{33}X_{33} \end{aligned} \quad (24)$$

- **Passo 2:** Obtenção dos pesos internos

Tendo os escores iniciais das dimensões sido obtidos, o foco passa a ser no modelo interno, que lembrando, é o modelo que considera apenas a relação entre as variáveis latentes. Neste passo os escores são recalculados de uma maneira diferente, ao invés de calcular eles como

uma combinação linear de seus indicadores, utiliza-se a combinação linear entre as variáveis latentes associadas.

A estimação interna de  $LV_j$  doravante identificado por  $Z$  é definida em (25).

$$Z_j = \sum_{i \leftrightarrow j} e_{ij} Y_i \quad (25)$$

Onde a seta de duas direções  $\leftrightarrow$  denota que  $LV_j$  é associado ou conectado a  $LV_i$ . Se existir qualquer tipo de seta entre  $LV_j$  e  $LV_i$ , não importando a sua direção,  $LV_i$  deve ser levado em conta no cálculo de  $Z_j$ .

Sendo o modelo em questão o interno, os pesos  $e_{ij}$  são chamados de *pesos estruturais*. Sobre esse aspecto, três principais métodos diferentes podem ser utilizados para o cálculo dos pesos estruturais (LOHMÖLLER, 1989):

**Centroid scheme:** Este tipo de abordagem considera apenas a direção do sinal da correlação entre  $LV$  e seus  $LVs$  adjacentes. Definindo os pesos estruturais conforme a equação (26), contudo essa opção não considera a direção nem a força dos caminhos do modelo estrutural, o que pode gerar problemas quando a correlação é próxima a zero, causando uma mudança de sinal de +1 para -1 durante as iterações.

$$e_{ji} = \begin{cases} \text{sign}(\text{cor}(Y_j, Y_i)) & LV_j, LV_i \text{ adjacentes} \\ 0 & \text{outros} \end{cases} \quad (26)$$

**Factor scheme:** Esta abordagem usa o coeficiente de correlação como o peso estrutural ao invés de apenas o usar o sinal da correlação, definindo os pesos estruturais conforme (27). Neste esquema não só o sinal da direção como também a força dos caminhos é considerada.

$$e_{ji} = \begin{cases} \text{cor}(Y_j, Y_i) & LV_j, LV_i \text{ adjacentes} \\ 0 & \text{outros} \end{cases} \quad (27)$$

**Path scheme:** Nesta abordagem as  $LVs$  são divididas em antecedentes (preditores) e seguidores (predicandos) dependendo diretamente da relação de causa-efeito entre duas variáveis latentes. Uma  $LV$  pode ser uma seguidora se ela for causada por outra, ou um antecedente se ela for a causa de uma próxima dimensão.

Se  $LV_i$  é predita por  $LV_j$ , o peso estrutural é igual a correlação entre  $Y_i$  e  $Y_j$  (escores). Se  $LV_i$  predizer um delimitado número de  $LV_j$ s, os pesos estruturais utilizam os coeficientes de regressão entre  $Y_i$  e  $Y_j$ s (28), conforme apresentado em (29).

$$Y_i \propto e_0 + e_{ij_1} Y_{j_1} + \dots + e_{ij_n} Y_{j_n} + \varepsilon \quad (28)$$

$$e_{ji} = \begin{cases} \text{cor}(Y_j, Y_i) & LV_j \rightarrow LV_i \\ (Y_i' Y_i)^{-1} Y_i' Y_j & LV_i \rightarrow LV_j \end{cases} \quad (29)$$

A vantagem deste método é levar em conta tanto a força como a direção dos caminhos do modelo estrutural, todavia pode apresentar problemas quando a matriz de correlação entre as dimensões for singular.

Sua característica única faz com que seja considerado atualmente como um dos métodos mais adequados para estimação dos pesos estruturais (BECKER; KLEIN; WETZELS, 2012; CHIN; DIBBERN, 2010; HENSELER, 2010; RINGLE; WENDE; BECKER, 2015).

**Horst scheme:** Um quarto método foi especificado por Kramer (2007) para aproximar o algoritmo da PLS-PM ao modelo generalista das Análises de Correlações Canônicas. Atualmente seu uso tem se limitado à auxiliar na análise teórica da PLS-PM. Neste esquema as estimações internas são 1 caso as  $LV$ s estejam conectadas e 0 caso contrário, conforme (30).

$$e_{ji} = \begin{cases} 1 & LV_j, LV_i \text{ adjacentes} \\ 0 & \text{outros} \end{cases} \quad (30)$$

- **Passo 3:** Aproximação interna

De posse dos pesos estruturais, pode-se calcular a estimação interna  $Z_j$  conforme a equação (31).

$$Z_j = \sum_{i \leftrightarrow j} e_{ij} Y_i \quad (31)$$

No exemplo auxiliar deste capítulo pode-se considerar o apresentado em (32).

$$\begin{aligned}
Z_1 &= \sum_{i \leftrightarrow 1} e_{i1} Y_i = e_{21} Y_2 + e_{31} Y_3 \\
Z_2 &= \sum_{i \leftrightarrow 2} e_{i2} Y_i = e_{12} Y_1 + e_{32} Y_3 \\
Z_3 &= \sum_{i \leftrightarrow 3} e_{i3} Y_i = e_{13} Y_1 + e_{23} Y_2
\end{aligned} \tag{32}$$

- **Passo 4:** Atualização dos pesos fatoriais

Tão logo a aproximação interna é finalizada, a estimação interna de  $Z_j$  deve ser considerada com seus indicadores, isso é feito por meio da atualização dos pesos fatoriais.

Na literatura são utilizados tipicamente dois métodos para calcular os pesos fatoriais  $w_j$ , o Modo A e o Modo B. Cada modo corresponde a uma maneira diferente de relacionar as dimensões no modelo teórico, o primeiro modo ocorre quando os indicadores são relacionados a uma variável latente por meio de um modo reflexivo, enquanto o segundo modo é preferido quando os indicadores associados com sua dimensão estão conectados de maneira formativa. O Modo A tende a ignorar a colinearidade entre os preditores, o que pode ser útil para o poder de predição do modelo (RIGDON, 2016).

**Modo A:** No primeiro método – tipicamente utilizado em constructos reflexivos – pode-se obter os pesos fatoriais  $w_{jk}$  com uma regressão de cada um dos indicadores  $X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jk}$  na estimação interna  $Z_j$ , conforme (33).

$$w_j = (Z_j' Z_j)^{-1} Z_j' X_j = \text{cov}(X_j, Z_j)^{40} \tag{33}$$

**Modo B:** No segundo método – tipicamente utilizado em constructos formativos –, obtém-se o vetor dos pesos fatoriais  $w_j$  como uma regressão múltipla de  $Z_j$  em  $X_j$ , conforme a equação (34).

$$w_j = (X_j' X_j)^{-1} X_j' Z_j \tag{34}$$

---

<sup>40</sup> A aproximação da regressão como uma covariância é possível devido à padronização das variáveis.

- Verificação da convergência

Por fim, em cada iteração, a convergência é verificada comparados os pesos fatoriais da iteração atual contra os pesos fatoriais da iteração anterior. Um dos métodos de verificação da convergência é por meio da equação (35), onde  $s$  representa o número da iteração e  $\Delta$  o valor de tolerância, normalmente definido entre  $10^{-5}$  e  $10^{-7}$ .

$$|w_{jk}^{(s+1)} - w_{jk}^{(s)}| < \Delta \quad (35)$$

**2) Estágio 2:** No segundo estágio do algoritmo são estimados os coeficientes de caminho  $\beta_{ji}$ . Eles são caracterizados pelos coeficientes da regressão linear múltipla por mínimos quadrados ordinários na regressão múltipla de  $Y_j$  em todos os  $Y_i$  relacionados a ele, conforme (36) e (37).

$$Y_j = \sum_{i \rightarrow j} \beta_{ij} Y_i \quad (36)$$

$$\beta_{ji} = (Y_i' Y_i)^{-1} Y_i' Y_j \quad (37)$$

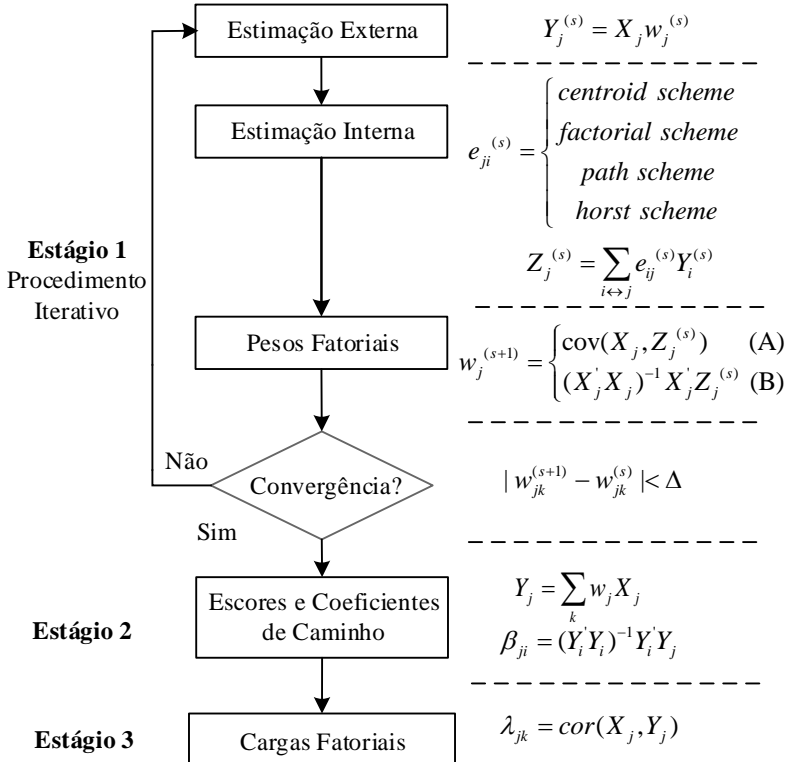
**3) Estágio 3:** O terceiro estágio do algoritmo consiste em calcular as cargas. Por conveniência e simplificação, as cargas são calculadas como uma correlação entre os escores da variável latente desejado e os seus indicadores, como apresentado na equação (38).

$$\lambda_{jk} = \text{cor}(X_j, Y_j) \quad (38)$$

Os 3 estágios podem ser condensados em um fluxograma, conforme apresentado na Figura 22.



Figura 22 - Estágios da PLS-PM.



Fonte: adaptado de Sanchez (2009).

O algoritmo completo<sup>41</sup> da PLS-PM conforme definido por Lohmller (1989)  apresentado no Quadro 17.

Quadro 17 - Algoritmo da PLS-PM de Lohmller (1989) com *path scheme*.

**Algoritmo:** PLS Path Modeling com *path scheme* e regressão por mínimos quadrados ordinários baseado no algoritmo de Lohmller (1989)

**Entrada:**  $X = [X_1, \dots, X_j, \dots, X_J]$ , com  $J$  blocos de variáveis;

**Saída:**  $w_j, Y_j, \beta_{ij}, \lambda_j$ ;

0: inicializa  $w_j$

1: **para todo**  $j = 1, \dots, J$  **faça**

<sup>41</sup> Esta versão do algoritmo segue a atualizao iterativa de Jacobi (KRAMER, 2007).

2:	$Y_j^{(s)} = X_j w_j^{(s)}$
3:	$e_{ji}^{(s)} = \underbrace{\left\{ \begin{array}{ll} \text{cor}(Y_j^{(s)}, Y_i^{(s)}) & LV_j \rightarrow LV_i \\ (Y_i^{(s)'} Y_i^{(s)})^{-1} Y_i^{(s)'} Y_j^{(s)} & LV_i \rightarrow LV_j \end{array} \right\}}_{\text{path scheme}}$
4:	$Z_j^{(s)} = \sum_{i \leftrightarrow j} e_{ij}^{(s)} Y_i^{(s)}$
5:	atualiza $w_j$ :
	$w_j^{(s+1)} = \begin{cases} \text{cov}(X_j, Z_j^{(s)}) & \text{Modo A} \\ (X_j' X_j)^{-1} X_j' Z_j^{(s)} & \text{Modo B} \end{cases}$
6:	<b>se</b> $ w_{jk}^{(s+1)} - w_{jk}^{(s)}  < \Delta$
7:	$Y_j = \sum_k w_j X_k$
8:	$\beta_{ji} = (Y_i' Y_i)^{-1} Y_i' Y_j$
9:	$\lambda_{jk} = \text{cor}(X_j, Y_k)$
10:	<b>senão</b>
11:	repete até a convergência
12:	<b>fim se</b>
13:	<b>fim para</b>

Fonte: adaptado de Vinzi; Trinchera e Amato (2010).

O algoritmo da PLS-PM de Lohmöller (1989) é bastante difundido na literatura e utilizado em implementações comerciais devido a possibilidade de efetuar os cálculos matricialmente, contudo, sua convergência não é monótona (ESPOSITO VINZI; RUSSOLILLO, 2013).

A convergência monótona é alcançado com o algoritmo<sup>42</sup> apresentado por Wold (1985), apresentado no Quadro 18.

Quadro 18 - Algoritmo da PLS-PM de Wold (1985) com *path scheme*.

**Algoritmo:** PLS Path Modeling com *path scheme* e regressão por mínimos quadrados ordinários baseado no algoritmo de Wold (1985)

**Entrada:**  $X = [X_1, \dots, X_j, \dots, X_J]$ , com  $J$  blocos de variáveis;

<sup>42</sup> Esta versão do algoritmo é correspondente ao algoritmo multivariado de Gauss-Seidel (KRAMER, 2007).

**Saída:**  $w_j, Y_j, \beta_{ij}, \lambda_{jk}$  ;

0: inicializa  $w_j$

$$1: Y_j = \sum_k X_j w_j^{(0)}$$

2: **para todo**  $j = 1, \dots, J$  **faça**

3:     **se**  $j < i$ :

$$e_{ji}^{(s)} = \underbrace{\begin{cases} \text{cor}(Y_j^{(s)}, Y_i^{(s+1)}) & LV_j \rightarrow LV_i \\ (Y_i^{(s)}, Y_i^{(s)})^{-1} Y_i^{(s)}, Y_j^{(s+1)} & LV_i \rightarrow LV_j \end{cases}}_{\text{path scheme}}$$

**senão**

$$e_{ji}^{(s)} = \underbrace{\begin{cases} \text{cor}(Y_j^{(s)}, Y_i^{(s)}) & LV_j \rightarrow LV_i \\ (Y_i^{(s)}, Y_i^{(s)})^{-1} Y_i^{(s)}, Y_j^{(s)} & LV_i \rightarrow LV_j \end{cases}}_{\text{path scheme}}$$

$$5: \quad Z_j^{(s)} = \sum_{j < i} e_{ij}^{(s)} w_j^{(s+1)} X_j + \sum_{j > i} e_{ij} w_j^{(s)} X_j$$

6:     atualiza  $w_j$  :

$$w_j^{(s+1)} = \begin{cases} \text{cov}(X_j, Z_j^{(s)}) & \text{Modo A} \\ (X_j' X_j)^{-1} X_j' Z_j^{(s)} & \text{Modo B} \end{cases}$$

$$Y_j^{(s)} = X_j w_j^{(s+1)}$$

7:     **fim para**

7:     **se**  $|w_{jk}^{(s+1)} - w_{jk}^s| < \Delta$

$$8: \quad Y_j = X_j w_j$$

$$9: \quad \beta_{ji} = (Y_i' Y_i)^{-1} Y_i' Y_j$$

$$10: \quad \lambda_{jk} = \text{cor}(X_j, Y_j)$$

11:     **senão**

12:     repete até a convergência

13:     **fim se**

14: **fim para**

Fonte: adaptado de Esposito, Vinzi e Russolillo (2013).

No algoritmo de Wold (1985) a estimação interna é feita individualmente em função de cada bloco de variável latente, utilizando sempre

a informação mais recente referente às variáveis latentes a ela conectadas. Enquanto no algoritmo de Lohmöller (1989) a implementação matricial computa todos os escores simultaneamente, se limitando às informações anteriores. A diferença entre os algoritmos é apresentada no Quadro 19.

Quadro 19 - Comparação entre os procedimentos propostos por Lohmöller e Wold

Iteração	Lohmöller	Wold
$i$	$Y_1^{(i)}, Y_2^{(i)}, Y_3^{(i)}$	$Y_1^{(i)}, Y_2^{(i)}, Y_3^{(i)}$
$i+i$	$Y_1^{(i+1)} = f(Y_1^{(i)}, Y_2^{(i)}, Y_3^{(i)})$ $Y_2^{(i+1)} = f(Y_1^{(i)}, Y_2^{(i)}, Y_3^{(i)})$ $Y_2^{(i+1)} = f(Y_1^{(i)}, Y_2^{(i)}, Y_3^{(i)})$	$Y_1^{(i+1)} = f(Y_1^{(i)}, Y_2^{(i)}, Y_3^{(i)})$ $Y_2^{(i+1)} = f(Y_1^{(i+1)}, Y_2^{(i)}, Y_3^{(i)})$ $Y_2^{(i+1)} = f(Y_1^{(i+1)}, Y_2^{(i+1)}, Y_3^{(i)})$

Fonte: Henseler (2010).

Ao longo deste trabalho, o algoritmo de Wold (1985) foi utilizado como padrão.

### 3.2.5 Critérios de Otimização

A respeito dos critérios que o algoritmo PLS-PM otimiza, foi comprovado por Mathes (1993) que a equação estacionário de um modelo baseado apenas em indicadores estimados por meio do Modo B otimiza o critério apresentado em (39) sujeito à restrição apresentada em (40).

$$\text{PLS-PM max}_{w_j} = \sum_{j \neq k} c_{jk} g(\text{cor}(X_j w_j, X_k w_k)) \quad (39)$$

$$\text{sujeito à } \|X_j w_j\|^2 = 1 \quad (40)$$

Onde:

$$c_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{se } X_j \text{ e } X_k \text{ estiverem conectados} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (41)$$

$$g = \begin{cases} x & \text{Horst scheme} \\ x^2 & \text{factorial scheme} \\ |x| & \text{centroid scheme} \end{cases} \quad (42)$$

Hanafi (2007) mais tarde comprovou que a parte iterativa do algoritmo possui convergência monótona a este critério utilizando o algoritmo de Wold (1985).

Contudo, Krämer (2007) percebeu que caso os indicadores fossem estimados apenas por meio do Modo A não era possível relacionar a otimização da equação estacionária do algoritmo a uma função duplamente diferenciável. Ele propôs que as restrições da normalização fossem colocadas nos pesos fatoriais ao invés do escores das variáveis latentes, fazendo com que a função estacionária otimizasse a equação apresentada em (43) sujeita à restrição apresentada em (44).

$$\text{PLS-PM} = \max_{w_j} \sum_{j \neq k} c_{jk} g(\text{cov}(X_j w_j, X_k w_k)) \quad (43)$$

$$\text{sujeito à } \|w_j\|^2 = 1 \quad (44)$$

Este novo critério de otimização é satisfeito quando se utiliza o “novo modo A”, proposto inicialmente por Krämer (2007) e tendo sua convergência monótona comprovada por Tenenhaus e Tenenhaus (2011) também para o algoritmo de Wold (1985).

O novo modo A modifica a normalização dos pesos fatoriais, retirando-a dos escores das variáveis latentes ( $X_j w_j$ ) e colocando-a nos próprios pesos fatoriais. Este novo critério foi utilizado como alternativa ao Modo A tradicional no decorrer deste trabalho.

O critério geral de otimização da PLS-PM para modelos com estimação dos indicadores tanto pelo novo Modo A quanto pelo Modo B pode ser generalizado para (45) sujeito às restrições apresentadas em (46) (TENENHAUS; TENENHAUS, 2011).

$$\text{PLS-PM} = \max_{w_j} \sum_{j \neq k} c_{jk} g[(\text{cor}(X_j w_j, X_k w_k)) \sqrt{\text{var}(X_j w_j)^\tau} \sqrt{\text{var}(X_k w_k)^\tau}] \quad (45)$$

$$\text{sujeito à } \tau \|w_j\|^2 + (1 - \tau) \|X_j w_j\|^2 = 1 \quad (46)$$

Sendo  $\tau$  definido como em (47).

$$\tau = \begin{cases} 1 & \text{Novo Modo A} \\ 0 & \text{Modo B} \end{cases} \quad (47)$$

Ao longo deste trabalho será utilizado prioritariamente o Novo Modo A, pela sua característica dita reflexiva e de maximização do modelo preditivo (RIGDON, 2016), em conjunto com o *path scheme*, por ser atualmente considerado um dos mais adequados devidos a sua características de considerar a direção da conectividade entre variáveis latentes (BECKER; KLEIN; WETZELS, 2012; CHIN; DIBBERN, 2010; HENSELER, 2010; RINGLE; WENDE; BECKER, 2015). Portanto, faz-se necessária compreender melhor os critérios de otimização relacionados ao Modo A e ao *path scheme*.

### 3.2.5.1 Lagrangiana associada ao Novo Modo A

Para compreender o problema de otimização relacionado do algoritmo da PLS-PM parte-se do modelo de generalização para mais de dois blocos da Análise de Correlações Canônicas (KRAMER, 2007; TENENHAUS; TENENHAUS, 2011), apresentado em (48), sujeito às restrições apresentadas em (49), relativas aos escores.

$$\max_w \text{cor}(X_i w_i, X_j w_j) \quad (48)$$

$$\text{sujeito à } \|X_j w_j\|^2 = 1 \quad (49)$$

Expandindo o problema para um conjunto de blocos, define-se a otimização representada em (50), deixando-se a correlação em função de  $g(x)$  que será posteriormente relacionada ao *scheme* de estimação.

$$\max_w \sum_{i,l:c_{ij} \neq 0} c_{ij} g(\text{cor}(X_i w_i, X_j w_j)) \quad (50)$$

Para modificar o objetivo da otimização de correlação para covariância, deve-se modificar as restrições para serem baseados nos próprios pesos fatoriais.

$$\max_w \sum_{i,l:c_{ij} \neq 0} c_{ij} g(\text{cov}(X_i w_i, X_j w_j)) \quad (51)$$

$$\text{sujeito à } \|w_j\|^2 = 1 \quad (52)$$

Antes de prosseguir com a resolução do problema, deve lembrar o cálculo de covariância entre duas variáveis (53).

$$\text{cov}(X_i, X_j) = E(X_i, X_j) = \Sigma_{ij} = \frac{1}{n} X_i' X_j \quad (53)$$

Portanto, a função a ser otimizada por ser reescrita conforme apresentado em (54).

$$\begin{aligned} f(w) &= \sum_{i,l:c_{ij} \neq 0} c_{ij} g\left(\frac{X_i' w_i' X_j w_j}{n}\right) \\ &= \sum_{i,l:c_{ij} \neq 0} c_{ij} g\left(w_i' \frac{X_i' X_j}{n} w_j\right) \\ &= \sum_{i,l:c_{ij} \neq 0} c_{ij} g(w_i' \Sigma_{ij} w_j) \end{aligned} \quad (54)$$

A função de Lagrange associada pode ser expressada como em (55), em que  $\lambda_{LAG}$  são conhecidos como multiplicadores de Lagrange.

$$L(w, \lambda_{LAG}) = f(w) - \frac{\gamma}{2} \sum_{i=1}^I \lambda_{LAGi} (w_i' w_i - 1) \quad (55)$$

O fator  $\gamma/2$  é responsável para evitar o redimensionamento dos multiplicadores de Lagrange com a alteração do *scheme*. Derivando a função de Lagrange em relação aos pesos fatoriais e aos multiplicadores de Lagrange obtêm-se respectivamente (56) e (57).

$$\frac{\partial L(w, \lambda_{LAG})}{\partial w_i} = \sum_{k=1}^K c_{ij} \dot{g}(w_i' \text{cov}_{ij} w_j) \text{cov}_{ij} w_j - \lambda_{LAGi} w_i \quad (56)$$

$$\frac{\partial L(w, \lambda_{LAG})}{\partial \lambda_i} = w_i' w_i - 1 \quad (57)$$

Desta forma chega-se até a equação estacionária apresentada em (58) com as restrições de normalização apresentadas em (59).

$$\sum_{i=1}^I c_{ij} \dot{g}(w_i' \text{cov}_{ij} w_j) \text{cov}_{ij} w_j = \lambda_{LAGi} w_i \quad (58)$$

$$w_i' w_i = \|w_i\|^2 = 1 \quad (59)$$

Sendo a estimação interna do algoritmo PLS-PM<sup>43</sup> dada conforme (60) e a estimação dos pesos fatoriais no modo A compreendido por (61).

$$Z_j = \sum_{i \leftrightarrow j} c_{ij} e_{ij} X_i w_i \quad (60)$$

$$\text{Modo A} = \text{cov}(X_j, Z_j) \quad (61)$$

Pode-se reescrever a equação (61) como em (62).

$$\begin{aligned} \text{cov}(X_j, Z_j) &= E(X_j, Z_j) \\ &= E\left(X_j \sum_{i=1, i \neq j}^J c_{ij} e_{ij} X_i w_i\right) \\ &= \sum_{i=1, i \neq j}^J c_{ij} e_{ij} w_i \text{cov}_{ij} \end{aligned} \quad (62)$$

Definindo-se o cálculo do *scheme* como apresentado em (63), pode reescrever a equação (62) como em (64).

$$e_{ij} = \dot{g}(w_i' \text{cov}_{ij} w_j) \quad (63)$$

$$\text{cov}(X_j, Z_j) = \sum_{i=1, i \neq j}^J c_{ij} \dot{g}(w_i' \text{cov}_{ij} w_j) w_i \text{cov}_{ij} \quad (64)$$

Substituindo a equação (64) em (56) pode-se reescrever a equação estacionária como em (65), sujeita as restrições de normalização apresentadas em (59).

$$\tilde{w}_i = \frac{\text{cov}(X_j, Z_j)}{\sqrt{\text{cov}(X_j, Z_j)' \text{cov}(X_j, Z_j)}} = \frac{\text{cov}(X_j, Z_j)}{\|\text{cov}(X_j, Z_j)\|} \quad (65)$$

Portanto, compreende-se o algoritmo da PLS-PM quando estimado utilizando o novo Modo A como um problema de otimização de covariância.

---

<sup>43</sup> Para simplificar a demonstração, o algoritmo é utilizado na versão de Lohmöller (1989).



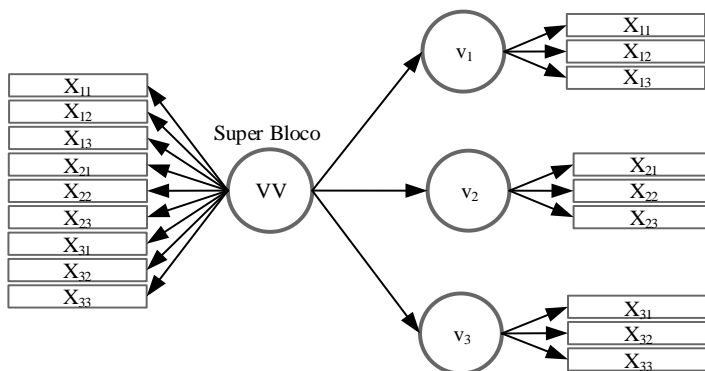
### 3.2.5.2 Modelo Hierárquico com Modo A e *Path Scheme*

Além dos modos de conexão tradicionais, na PLS-PM por vezes superblocos de variáveis latentes são criados, compostos por variáveis latentes de ordem menor. Lohmöller (1989) estudou o efeito do processo de otimização quando um superbloco é submetido ao *path scheme* com estimação no Modo A<sup>44</sup>.

Supondo um superbloco  $VV$  formado por 3 variáveis latentes de ordem menor ( $v_1, v_2, v_3$ ), conforme

Figura 23. O superbloco em questão é estimado pela repetição das variáveis de ordem menor em sua constituição, conforme sugerido por Wold (1985).

Figura 23 - Superbloco de variáveis latentes.



Fonte: o autor.

Lohmöller (1989) observou que o algoritmo da PLS-PM neste caso converge os escores do superbloco para a primeira componente principal de suas variáveis.

Segundo Tenenhaus e Hanafi (2010), o superbloco tem o mesmo critério de otimização que o algoritmo ACOM (*analyse de co-inertie multiple*) de Chessel e Hanafi (1996), que otimiza o critério apresentado em (66).

$$\max_w \sum_{j=1}^J \text{cov}^2(X_{v_j} w_{v_j}, X_{VV} w_{VV}) \quad (66)$$

<sup>44</sup> O entendimento da otimização do superbloco se torna importante pelo seu uso futuro ao longo deste trabalho.

Levando a variáveis latentes que ao mesmo tempo em que explicam o seu próprio bloco são correlacionadas positivamente ao primeiro componente principal dos dados analisados (TENENHAUS; HANAFI, 2010).

### 3.2.6 Validação dos Resultados

Para os dados extraídos do algoritmo PLS-PM, segundo Wong (2013) e Hair et al. (2012), pode-se analisar a sua validade e confiabilidade por intermédio dos itens apresentados no Quadro 20 e no Quadro 21.

Quadro 20 - Avaliação do modelo de mensuração (externo) para variáveis reflexivas.

<b>Avaliação</b>	<b>Descrição</b>
Indicador de confiabilidade	As cargas fatoriais devem estar acima de 0,7. Em caso de pesquisa exploratória 0,5 é aceitável (HULLAND, 1999).
Confiabilidade da consistência interna	Confiabilidade composta acima de 0,7. Em caso de pesquisa exploratória 0,6 é aceitável (BAGOZZI; YI, 1998); Alfa de Cronbach acima de 0,7 para ser considerado aceitável em estudos confirmatórios (CHIN; DIBBERN, 2010); $\rho_A$ acima de 0,7 (DIJKSTRA; HENSELER, 2015)
Validação convergente	Variância média extraída acima de 0,5 (BAGOZZI; YI, 1998).
Validação discriminante	A variância média extraída de cada variável latente deve ser maior que o quadrado da correlação entre as variáveis latentes (FORNELL; LARCKER, 1981); As cargas de uma dimensão devem ser mais significativas quando analisadas dentro dela própria (HAIR JR et al., 2014); Os valores da correlação Heterotrait-Monotrait (HTMT) devem apresentar valores menores que 0,9 (HENSELER; RINGLE; SARSTEDT, 2015).

Fonte: adaptado e atualizado de Wong (2013) e Hair et al. (2012).

Quadro 21 - Avaliação do modelo estrutural (interno).

Avaliação	Descrição
Coeficiente de determinação ( $R^2$ )	Os índices aceitáveis dependem do contexto da pesquisa. Contudo, Wong (2013) estima que no geral um $R^2$ de 0,75 é considerado substancial; 0,50 moderado; e 0,25 fraco.
Tamanho de efeito ( $f^2$ )	Tamanho do efeito de 0,02; 0,015 e 0,35 são tidos, respectivamente, como pequenos, médios e grandes (COHEN, 1998).
Relevância preditiva ( $Q^2$ )	$Q^2$ maior que 0 já é suficiente para caracterizar a significância preditiva de um indicador (CHIN, 1998).
Testar as heterogeneidades não-observadas e as observadas (análise entre segmentos)	Considerar as diferenças existentes entre grupos no modelo, sejam eles pré-definidas ou estimadas posteriormente (HAIR et al., 2012).

Fonte: adaptado de Hair et al. (2012).

Sendo<sup>45</sup>:

Indicador de confiabilidade: um dos critérios da confiabilidade de uma variável latente está relacionado ao valor de suas cargas, que são calculadas como uma correlação entre a variável latente e os seus indicadores, conforme citado no procedimento de cálculo (HULLAND, 1999).

Confiabilidade da consistência interna: é uma forma de medida baseada na correlação entre os indicadores de um mesmo constructo, verificando se eles produzem, de forma geral, resultados semelhantes (BAGOZZI; YI, 1998; CHIN; DIBBERN, 2010).

Por exemplo, pode ser verificada caso um questionário possuísse entre outras, as seguintes perguntas:

- 1) Você gosta de amêndoas?
- 2) Você come amêndoas?

---

<sup>45</sup> Indica-se que os procedimentos de cálculo para as validações são apresentados no Capítulo 6.

Aqueles que responderem que comem amêndoas pode-se supor que responderão também que gostam de amêndoas<sup>46</sup>, o que causará uma correlação alta entre as questões. Porém se em um determinado grupo de indivíduos em que o teste for aplicado for percebida uma correlação baixa entre as duas questões, significará que as respostas foram aleatórias, tornando o teste pouco confiável.

Validação convergente: busca mensurar se os itens de um constructo possuem alto índice de explicação do mesmo, tendo em sua mensuração a média das cargas fatoriais ao quadrado da variável latente desejada.

Validação discriminante: é uma forma de mensurar se os constructos estão separados de forma adequada, sendo principalmente representados pelos seus indicadores constituintes e não por indicadores pertencentes a algum outro constructo.

Para tantos, alguns critérios são comumente apresentados na literatura:

- 1) Critério de Fornell e Larcker: considerando que o quadrados das cargas fatoriais são utilizados para calcular a variância média extraída (AVE) dos componentes, o critério de Fornell e Larcker propõe que a variância média extraída de cada variável latente deve ser maior que o quadrado da correlação entre as variáveis latentes (FORNELL; LARCKER, 1981);
- 2) Cargas cruzadas: as cargas de uma dimensão devem ter maior valor quando testadas dentro da própria. Para tanto testa-se a eficácia dos indicadores em todas as dimensões do modelo a fim de comparar seus valores (HAIR JR et al., 2014);
- 3) Correlação HTMT: proposto recentemente na literatura a validação discriminante HTMT utiliza a correlação Heterotrait-Monotrait para aferir a discriminação entre as variáveis latentes (HENSELER; RINGLE; SARSTEDT, 2015).

Coefficiente de Determinação (R<sup>2</sup>): O índice R<sup>2</sup> – também conhecido como coeficiente de determinação – indica a proporção de variância

---

<sup>46</sup> O exemplo é apenas para fins ilustrativos, entende-se que o contrário nem sempre é verdadeiro, ou seja, aqueles que gostam talvez não comam por motivos diversos, como, por exemplo, alergia.

de uma variável latente dependente explicada por um conjunto de variáveis latentes independentes, sendo calculada por meio dos resíduos da regressão linear dos coeficientes de caminho.

Relevância preditiva ( $Q^2$ ): O coeficiente  $Q^2$  – também conhecido como coeficiente de Stone-Geisser – representa o valor de relevância preditiva do constructo (HAIR JR et al., 2014), é estimado por meio de uma técnica conhecida como *blindfolding*<sup>47</sup> (HAIR JR et al., 2014), que consiste em remover determinados itens das amostras e mensurar o novo modelo gerado. O modelo predito<sup>48</sup> pela amostra que sofreu *blindfolding* é comparado com a amostra original para estimação do coeficiente, que pode ser calculado como apresentado em (67).

$$Q^2 = 1 - \frac{SSE}{SSO} \quad (67)$$

Sendo SSE a soma dos quadrados dos erros gerados pela predição e SSO é a soma dos quadrados da amostra subtraída de sua média. A remoção dos itens da amostra original ocorre em uma distância pré-definida, recomendada pela literatura que se mantenha entre 5 e 12. Deste modo, a cada distância pré-definida, o item da amostra é removido e substituído pelo tratamento escolhido pelo operador do algoritmo, comumente pelo valor médio do conjunto de indicadores ao qual o item pertence. Um valor de  $Q^2$  maior que 0 já é suficiente para caracterizar a significância preditiva de um indicador (HAIR JR et al., 2014).

É importante destacar que o índice  $Q^2$  pode assumir diferentes valores dependendo de como a predição for realizada. Na validação cruzada de comunalidades, a predição é realizada pelos escores das variáveis latentes subjacentes, enquanto na validação cruzada de redundância, o índice  $Q^2$  é obtido pelas variáveis latentes que estimam o bloco em questão. A validação cruzada de redundância é considerada a mais adequada para examinar a relevância preditiva de um modelo (CHIN, 2010). Na validação cruzada de redundância, o índice  $Q^2$  é calculado como em (68).

---

<sup>47</sup> Implementação disponível no arquivo **blindfolding.py**.

<sup>48</sup> Para a mensuração do valor do índice  $Q^2$  foi utilizada redundância com validação cruzada (TENENHAUS et al., 2005).

$$Q_p^2 = 1 - \frac{\sum_q \sum_i (X_{pq_i} - \bar{X}_{pq} - \lambda_{pq} \text{Pred}(Y_{q_i}))^2}{\sum_q \sum_i (X_{pq_i} - \bar{X}_{pq})^2} \quad (68)$$

Tamanho de efeito ( $f^2$ ): O fator  $f^2$ , conhecido como tamanho do efeito, que mensura a influência de uma variável latente na outra é também recorrente na literatura (PENG; LAI, 2012). Ele pode ser calculado pela expressão apresentada em (69).

$$\frac{R_{\text{incluído}}^2 - R_{\text{excluído}}^2}{1 - R_{\text{incluído}}^2} \quad (69)$$

Sendo  $R_{\text{incluído}}^2$  o valor de  $R^2$  obtido da regressão linear dos coeficientes do modelo original de  $LV_i$  sendo influenciada por  $LV_j$ , e  $R_{\text{excluído}}^2$  o novo valor de  $R^2$  obtido pela análise de um novo modelo em que não se inclui  $LV_j$ . Desta forma descobre-se o tamanho do efeito de  $LV_j$  em  $LV_i$ .

Salienta-se que para avaliar a qualidade da ferramenta de avaliação do processo, é necessária validá-lo utilizando os critérios aqui apresentados, consenso na literatura como sendo indispensáveis para tal (HAIR et al., 2012; HAIR JR et al., 2014; HULLAND, 1999; WONG, 2013).

São ainda propostas na literatura metodologias para calcular o ajuste geral do modelo. Uma delas é o *Goodness-of-fit (GoF)* do modelo, conforme apresentado em (70), indicador controverso na literatura comumente não indicado como parâmetro de métrica de confiabilidade do modelo (HENSELER; SARSTEDT, 2013). Entende-se a dificuldade de utilizar o GoF como critério global de avaliação por depender da média de  $R^2$  do modelo, indicador que possui valores de aceitação diferenciados dependendo do contexto da pesquisa, não sendo possível traçar uma faixa de valores aceitáveis (HAIR et al., 2012).

$$GoF = \sqrt{\bar{\lambda}^2 + \bar{R}^2} \quad (70)$$

Uma proposição de verificação do ajuste do modelo mais atual diz respeito à análise do SRMR<sup>49</sup> (*Standardized Root Mean Square Residual*) do modelo (HENSELER et al., 2014), que busca verificar a diferença entre a matriz de correlação observada e a matriz de correlação implícita do modelo, permitindo mensurar a magnitude das discrepâncias entre as correlações observadas e as esperadas como uma forma de mensurar a adequação do modelo.

A matriz de correção implícita (ICM) do modelo pode ser calculada a partir da matriz de covariância dos coeficientes de caminho e da matriz de cargas, conforme (71).

$$ICM = \lambda \text{cov}(\beta) \lambda' \quad (71)$$

Contudo, a literatura alerta para o uso desses índices enquanto não forem testados de maneira mais extensiva, sendo preferível que o modelo se atenha as validações tradicionais:

Apesar dos avanços, é uma questão em aberto se os índices de ajuste descritos adicionam algum valor as análises da PLS-PM em geral. A PLS-PM foca na predição ao invés da explicação do modelo, e por isso, requer um modelo de validação diferenciado. [...] Nesse contexto, adequações (como efetivado por SRMS), RMSttheta e o modelo de adequação exato oferecem pouco valor. De fato, eles podem ser até prejudiciais ao modelo pois pode tentar os pesquisadores a sacrificar valor preditivo em prol de melhores “adequações” (Tradução livre<sup>50</sup>)

---

<sup>49</sup> Os novos critérios para adequação do modelo sugeridos para a PLS-PM (como o SRMR) são, em sua maioria, herdados dos modelos clássicos de adequação da modelagem de equações estruturais baseada em covariância, e, portanto, seu uso no algoritmo tradicional da PLS-PM deve ser cauteloso. Sua utilização passa a ser mais adequada em novos algoritmos como o PLSc-PM, que surgiu na literatura como forma de mimetizar modelos baseados em covariância (DIJKSTRA; HENSELER, 2015).

<sup>50</sup> **Texto original:** Apart from these developments, it is an open question whether fit measured as described above adds any value to PLS-SEM analyses in general. PLS-SEM focuses on prediction rather than on explanatory modeling and therefore requires a different type of validation. In this context, fit (as put into effect by SRMS), RMSttheta, and the exact fit test offer little value. In fact, their use can even be harmful as researchers may be tempted to sacrifice predictive power to achieve better “fit” (HAIR et al., 2017, apud <http://www.smartpls.de/documentation/fit>).

de Hair et al., 2017, apud <http://www.smartpls.de/documentation/fit>).

Devido às controvérsias relacionadas aos modelos de adequação, este trabalho fará uso apenas dos parâmetros de confiabilidade e validação para mensurar a pertinência do modelo apresentado. Apresentando os índices de ajuste global apenas como relatos visando futuras análises a este documento caso o entendimento de sua funcionalidade seja alterado.

### 3.2.6.1 *Bootstrapping*

Para averiguar a confiabilidade dos dados estimados pela PLS-PM é recomendada também a utilização de uma técnica conhecida como *bootstrapping*, um método não paramétrico que busca averiguar se os coeficientes alvos do teste são significantes por meio do erro padrão das estimativas realizadas (CHIN, 1998)

No *bootstrapping* novas amostras são criadas com dados aleatoriamente retirados das observações originais (com substituição), estas amostras são utilizadas para estimar parâmetros desejados. O processo é repetido até que um número suficientemente grande de amostra seja criado, para que sua média e intervalo de confiabilidade sejam calculados para validar o resultado (EFRON; TIBSHIRANI, 1993; HAIR JR et al., 2014). Este tipo de abordagem se torna necessária pois o PLS-PM não assume que os dados são normalmente distribuídos, dessa forma testes paramétricos de significância comumente utilizados em análises de regressão não podem ser empregados.

No *bootstrapping* realizado para averiguação da significância dos coeficientes de caminhos estimados pela PLS-PM, é possível aproximar o *t-value*<sup>51</sup> como em (72), aproximando a relação do *t-value* para uma distribuição não paramétrica. A partir deste valor de *t-value*, o *p-value*<sup>52</sup> pode ser estimado utilizando o número de replicações decrescido de 1 como graus de liberdades.

---

<sup>51</sup> O *t-value* busca mensurar se há diferença significativa entre duas populações, ou, no caso específico deste trabalho, se há diferença significativa entre a média de uma população e o valor da hipótese. De forma geral, o *t-value* mede a diferença entre uma estatística observada e seu parâmetro de população em unidades de erro padrão. Para ser considerado adequado o *t-value* deve ser maior que 1,96 (WONG, 2013).

<sup>52</sup> De forma geral o *p-value*, também conhecido como probabilidade de significância é a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra. Ou seja, mensura o quão extrema uma observação é.



$$t\text{-value} = \frac{\bar{\beta}_i}{sd(\beta_i)} \quad (72)$$

Na técnica tradicional de estimação de significância por meio de *bootstrapping*, conhecida como *percentile*, os limites superior e inferior da significância são pré-fixados, Para obter uma métrica mais adequada dos limites superior e inferior pode-se utilizar o algoritmo de *bootstrapping* conhecido como BCa<sup>53</sup> (*bias-corrected and accelerated*), que visa ajustar os intervalos de confiança da métrica automaticamente, permitindo que não fique a cargo do operador a definição da escala adequada aos dados (EFRON, 1987; EFRON; TIBSHIRANI, 1993). Este tipo de ajuste de intervalos se torna particularmente importante aos dados apresentados neste trabalho devido à sua característica não normal, que pode gerar limites inferior e superior tendenciosos.

Os intervalos de confiança BCa são dados por  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , calculados conforme apresentado em (73).

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \Phi \left( \hat{z}_0 + \frac{\hat{z}_0 + z^{(\alpha)}}{1 - \hat{a}(\hat{z}_0 + z^{(\alpha)})} \right) \\ \alpha_2 &= \Phi \left( \hat{z}_0 + \frac{\hat{z}_0 + z^{(1-\alpha)}}{1 - \hat{a}(\hat{z}_0 + z^{(1-\alpha)})} \right) \end{aligned} \quad (73)$$

Onde  $\Phi(\cdot)$  se refere à distribuição normal padrão acumulada e  $z^{(\alpha)}$  é o ponto de percentual  $\alpha$  de uma distribuição normal padrão. Já os termos  $\hat{z}_0$  e  $a$  se referem respectivamente ao viés corrigido e a aceleração. O viés corrigido é obtido pela proporção de replicações que são menores que a replicação original, conforme apresentado em (74).

$$\hat{z}_0 = \Phi^{-1} \left( \frac{\#(\hat{\theta}^*(b) < \hat{\theta})}{Brep} \right) \quad (74)$$

---

<sup>53</sup> Implementação disponível no arquivo **bootstrapping.py**.

Sendo  $\hat{\theta}$  o valor estimado pela replicação original,  $\hat{\theta}^*(b)$  é o valor estimado pela replicação de ordem  $b$ , com um total de  $Brep$  replicações. De forma geral, o viés corrigido representa a discrepância entre a mediana de  $\hat{\theta}^*$  e  $\hat{\theta}$  de forma padronizada.

O cálculo da aceleração é feito com o auxílio de uma técnica chamada *jackknife*, que precede o conceito de *bootstrapping*, e interage sobre todo os dados fornecido, criando novas amostras, cada uma delas excluindo apenas uma das observações originais. Pode-se calcular a aceleração conforme (75).

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_{(i)} - \hat{\theta})^3}{6 \left( \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_{(i)} - \hat{\theta})^2 \right)^{3/2}} \quad (75)$$

Sendo  $\hat{\theta}_{(i)}$  a estimativa feita pela amostra *jackknife* de ordem  $i$  e  $\hat{\theta}$  é a média das estimativas obtidas por todas as amostras *jackknife*.

### 3.2.6.1.1 Boolean-Stine Bootstrapping

O método de *bootstrapping* de *Boolean-Stine* propõe impor o modelo desejado ao conjunto de dados coletados, fazendo com que o *bootstrapping* seja realizado sob este modelo. Isso permite utilizar a técnica como um teste de adequação do modelo.

Impondo a covariância do modelo estrutural na base de dados, busca-se mensurar a hipótese nula de que o modelo é verdadeiro. Para tanto, a matriz de dados inicial deve ser transformado como (76).

$$BS = (X - \bar{X}) \text{cov}(X)^{-1/2} ICM^{1/2} \quad (76)$$

As subamostras do método desejado (tais como *percentile* e *BCa*) passam a ser extraídas do conjunto de dados transformados *BS* e o *p-value* mensurado é utilizado como um índice de qualidade.

### 3.2.6.2 Análise de Segmentos

Durante a análise feita pela PLS-PM é assumida a homogeneidade dos dados, ou seja, todas as observações supostamente são bem representadas por um único modelo estimado. Contudo, podem existir heterogeneidades nos dados ao longo das observações, o que pode gerar resultados viesados ao se estimar os dados por meio de um modelo único (TRINCHERA, 2007).

As heterogeneidades podem ser pré-definidas (aplicações em grupos de respondentes previamente segmentados) ou definidos posteriormente por meio de algoritmos próprios. Os segmentos definidos são submetidos a uma comparação estatística de grupos a fim averiguar se são diferentes em um nível de significância definido pelo operador. O objetivo desta análise é comprovar se um modelo global é suficiente para analisar todos os dados.

Deve-se salientar que métodos de segmentação tradicionais não são adequados aos contexto da modelagem de equações de estruturais por ignorarem o modelo de caminhos previamente definido pelo pesquisador (SCHLITTGEN et al., 2016).

A busca por heterogeneidades não observadas é uma área em constante expansão no âmbito da PLS-PM (HENSELER; HUBONA; RAY, 2016), em seus estudos já foram desenvolvidos métodos utilizando mistura finita<sup>54</sup> (SARSTEDT et al., 2011), difusidades do sistema<sup>55</sup> (ROMANO, 2007), árvores de segmentação<sup>56</sup> (SANCHEZ, 2009), regressões ponderadas iterativas<sup>57</sup> (SCHLITTGEN et al., 2016) e modelos baseados em distância<sup>58</sup> (BECKER et al., 2013; TRINCHERA; SQUILLACCIOTTI; VINZI, 2006; VINZI, 2008) tais como algoritmos genéticos (RINGLE et al., 2013). A Figura 24 apresenta um diagrama de métodos comumente encontrados na literatura.

Neste trabalho, para avaliar as heterogeneidades não-observadas do sistema serão apresentados os resultados provindos de algoritmos já presentes na literatura e também de técnicas experimentais adaptadas.

---

<sup>54</sup> FIMIX-PLS

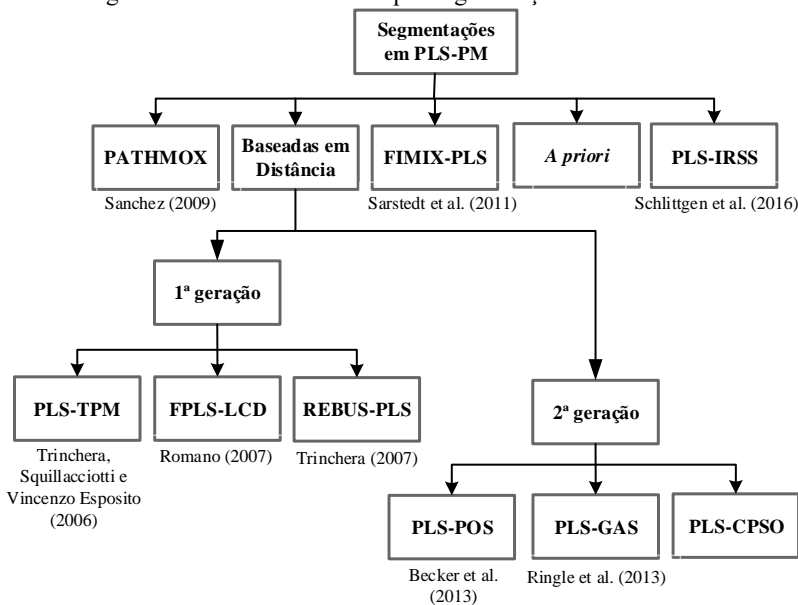
<sup>55</sup> FPLS-LCD

<sup>56</sup> PATHMOX

<sup>57</sup> PLS-IRRS

<sup>58</sup> PLS-POS, REBUS-PLS, PLS-TPM

Figura 24 - Métodos de busca por segmentações em PLS-PM.



Fonte: autoria própria.

### 3.2.6.2.1 Comparação de segmentos

A comparação entre grupos busca verificar se o resultado da comparação entre os coeficientes de caminhos entre os grupos possui uma diferença com significância maior que 5%. Ele baseia-se em comparar os grupos utilizando o *t-test* calculado com base nas subamostras do *bootstrapping* (KEIL et al., 2000). As hipóteses testadas nesta parte consistem em:

- $H_0$ : as populações pesquisadas são significativamente iguais;
- $H_1$ : as populações pesquisadas são significativamente diferentes;

De forma geral, consideram-se dois grupos  $G_1$  e  $G_2$ , cada um com um número respectivo de amostras ( $n_1$  e  $n_2$ ). Compara-se os coeficientes de caminho dos dois grupos:  $\beta_{ji}^{G_1}$  contra  $\beta_{ji}^{G_2}$ , o objetivo é averiguar se eles são significativamente semelhantes. Para isso, seguem-se as seguintes etapas (SANCHEZ, 2013):

- Calcula-se o PLS-PM para cada um dos grupos, obtendo os coeficientes  $\beta_{ji}^{G_1}$  e  $\beta_{ji}^{G_2}$  ;
- Separa-se os dados em dois grupos, e o *bootstrapping* é rodado separadamente para cada um;
- Para cada amostra do *bootstrapping*, o PLS-PM é recalculado para reobter os coeficientes de caminho;
- Depois de rodar todas as subamostras, o desvio padrão é estimado;
- O desvio padrão é utilizado, de forma paramétrica, para calcular o *t-test*.

Para uma distribuição paramétrica, a equação para cálculo do *t-test* é apresentada em (77), que segue uma distribuição t com  $n_1 + n_2 = 2$  graus de liberdade, sendo e  $S_{G_2}$  os desvios padrões de cada um dos grupos.

$$t = \frac{\beta_{ji}^{G_1} - \beta_{ji}^{G_2}}{\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \sqrt{\frac{(n_1 - 1)^2}{(n_1 + n_2 - 2)} std_{G_1} + \frac{(n_2 - 1)^2}{(n_1 + n_2 - 2)} std_{G_2}}} \quad (77)$$

Contudo, para que esse teste possa ser utilizado, é necessário aplicar o teste de Levene que compara a variância de observações de dois grupos (SARSTEDT; HENSELER; RINGLE, 2011). Para evitar problemas relativos à distribuição foi utilizada a alternativa para distribuições não-paramétricas, que é condizente com os princípios da PLS-PM, em que o *t-test* pode ser reescrito como em (78).

$$t = \frac{\beta_{ji}^{G_1} - \beta_{ji}^{G_2}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)}{(n_1)} sd_{G_1} + \frac{(n_2)}{(n_2)} sd_{G_2}}} \quad (78)$$

Os graus de liberdade devem ser estimados como em (79).

$$df = \left\| \left( \frac{\left( \frac{(n_1 - 1)}{(n_1)} sd_{G_1} + \frac{(n_2 - 1)}{(n_2)} sd_{G_2} \right)^2}{\frac{(n_1 - 1)}{(n_1^2)} sd_{G_1} + \frac{(n_2 - 1)}{(n_2^2)} sd_{G_2}} - 2 \right) \right\| \quad (79)$$

### 3.2.6.2.2 Avaliação de invariância de medição

Na análise entre segmentos outro fator a ser considerado é a invariância de medição, que contrasta, por exemplo, se diferentes respondentes interpretam um constructo de uma mesma maneira, ou seja, se devido a diferenças culturais ou de gênero os respondentes não possuem uma interpretação diferente do constructo sob análise (HENSELER; RINGLE; SARSTEDT, 2016).

Para tal análise é proposta na literatura uma técnica dividida em três partes (HENSELER; RINGLE; SARSTEDT, 2016):

**Invariância de configuração:** consiste em manter constantes a configuração do modelo, ou seja, verificar se traduções não podem ter deturpado os medidores, ou mesmo se as configurações de execução do algoritmo e do tratamento dos dados se mantiveram as mesmas ao longo do processo de análise.

**Invariância composicional:** consiste em verificar se os escores das variáveis latentes são criados igualmente entre os grupos. Para assegurar essa invariância define-se um coeficiente de correlação entre os grupos analisados, conforme (80):

$$c = cor(Y_i, Y_j) = cor(\tilde{w}_i X, \tilde{w}_j X) \quad (80)$$

Na equação, os pesos fatoriais de cada grupo são multiplicados pelos dados gerais (contendo todas as observações), criando escores intermediários que devem ser comparados, desejando-se que o resultado da correlação seja 1.

Para garantir a fidelidade do teste, é utilizada uma técnica de permutação – as observações são alocadas aleatoriamente para agrupamentos de mesmo tamanho dos agrupamentos originais inúmeras vezes, sem repetição – para estimar novas correlações entre possíveis agrupamentos. Ao final, caso a correlação original seja menor que o quantil de 5% da

distribuição empírica da permutação, deve-se rejeitar a hipótese de invariância composicional, do contrário, ela é ao menos parcialmente garantida.

Igualdade dos valores médios e das variâncias dos compostos: o último passo consiste em assegurar a igualdade entre as médias e variâncias dos grupos associados à pesquisa de forma a assegurar a invariância total, ou apenas parcial.

Neste passo o algoritmo da PLS-PM é executado em um único conjunto de dados contendo as observações de ambos os grupos, e a partir de um processo de permutação são selecionados um número de escores igual ao número de observações do primeiro grupo e também um número de escores igual ao número de observações do segundo grupo. Ao resultado dessas permutações pode-se avaliar a invariância da média dos compostos, verificando a hipótese de que a diferença entre suas médias é nula (81).

$$\bar{Y}_i - \bar{Y}_j = 0 \quad (81)$$

Para averiguar a equivalência de variâncias o processo é similar, mas exige uma análise da razão logarítmica entre os escores permutados (82).

$$\log(Y_i) - \log(Y_j) = 0 \quad (82)$$

A invariância de ambos os casos é considerada verdadeira se o resultado de (81) e (82) estiverem contidos dentro do intervalo de confiança 95% da permutação.

### 3.2.6.2.3 Segmentação por REBUS-PLS

Uma das possíveis maneiras de encontrar heterogeneidades não-observadas dentro da PLS-PM é conhecida como REBUS<sup>59</sup> (*Response Based Unit Segmentation*), um algoritmo desenvolvido para encontrar classes latentes dentro de um modelo global (SANCHEZ, 2013; VINZI, 2008). O algoritmo segue os seguintes passos:

- 1) Estimar do modelo global da PLS-PM;

---

<sup>59</sup> Implementação disponível no arquivo **rebus.py**.

- 2) Encontrar as comunalidades e os resíduos estruturais de todas as observações do modelo global;
- 3) Realizar um agrupamento hierárquico dos resíduos encontrados anteriormente;
- 4) Escolher um número de classes do dendograma obtido no passo anterior;
- 5) Atribuir as observações a cada um dos grupos de acordo com a análise hierárquica realizada;
- 6) Estimar os modelos locais para as classes definidas;
- 7) Encontrar a medida de proximidade de cada uma das observações com respeito ao modelo local;
- 8) Atribuir a cada uma das variáveis ao modelo local mais próximo e voltar para o passo 6 até que a estabilidade do pertencimento às classes seja alcançada;
- 9) Descrever as classes obtidas de acordo com as diferenças entre os modelos locais.

O algoritmo REBUS-PLS disponível no pacote `plspm`<sup>60</sup> implementado na linguagem R utiliza um algoritmo de segmentação identificado como Ward que mais tarde recebeu críticas na literatura (MURTAGH; LEGENDRE, 2014) por não implementar de maneira coerente o algoritmo originalmente proposto por Ward<sup>61</sup> (WARD, 1963). Na implementação desta tese o algoritmo atualizado foi utilizado, a segmentação por mínima variância de Ward pode ser definida como em (83).

$$d(u, v) = \sqrt{\frac{|v| + |s|}{|v| + |s| + |t|} d(v, s)^2 + \frac{|v| + |t|}{|v| + |s| + |t|} d(v, t)^2 + \frac{|v|}{|v| + |s| + |t|} d(s, t)^2} \quad (83)$$

A segmentação de Ward é aplicada nos resíduos da estimação PLS-PM, tanto nos resultados da estimação interna (estrutural) quanto nos resultados da estimação externa (medição). Os resíduos do modelo de medição são calculados como a diferença entre os manifestos reais e os manifestos estimados pela multiplicação dos escores da variáveis latentes e as cargas fatoriais estimadas, conforme (84).

<sup>60</sup> Código fonte disponível em <https://github.com/gastonstat/plspm>

<sup>61</sup> Os pacotes estatísticos atualmente definem a implementação anterior do algoritmo de Ward como `Ward.D1` e a versão corrigida como `Ward.D2`.



$$\sigma_{ipk} = x_{ipq} - \lambda_{pqk} Y_{ipk} \quad (84)$$

Os resíduos estruturais são estimados como a diferença entre os escores das variáveis latentes endógenas e a estimação interna das variáveis latentes obtida pelos coeficientes de caminho, conforme apresentado em (85).

$$\zeta = Y_{ijk} - \beta_{ajk} Y_{ijk} \quad (85)$$

A partir dos resíduos calculados, Trinchera (2007) sugere um cálculo de proximidade, definido como *closeness measure* que considera os resíduos do modelo de medição padronizados pelas comunalidades (cargas fatoriais ao quadrado) do modelo, e os resíduos estruturais padronizados pelos coeficientes  $R^2$ , conforme apresentado em (86).

$$CM_{ig} = \sqrt{\frac{\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^{P_j} \sigma_{iqjg}^2 / \lambda^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^{P_j} \sigma_{iqjg}^2 / \lambda^2}}{N-2} \cdot \frac{\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^{P_j} \zeta_{iqjg}^2 / R^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^{P_j} \zeta_{iqjg}^2 / R^2}}{N-2}} \quad (86)$$

Cada uma das observações tem o seu grau de proximidade calculado, mantendo-se no segmento as que possuem maior adequação à métrica.

Embora tenha sido bastante consolidada no final da década passada, o REBUS-PLS vem caindo em desuso diante de soluções consideradas mais modernas e eficientes na literatura (BECKER et al., 2013; RINGLE et al., 2013)

#### 3.2.6.2.4 Segmentação por algoritmos genéticos

A busca por heterogeneidades não observadas utilizando algoritmos genéticos foi proposta por Ringle et al., (2013) e até o momento da redação deste documento não estava disponível em nenhum dos aplicativos comerciais ou não para estimação PLS-PM. Contudo, apesar da pouca utilização do algoritmo pela falta de disponibilidade, os resultados apresentados pelos autores sugerem resultados de segmentação aceitáveis.

O uso da técnica nesta tese, por meio de uma releitura do algoritmo original, tem como objetivo difundir a técnica por meio da disponibilização do seu código fonte e a apresentação de técnicas computacionais sofisticadas de descobrimento de heterogeneidades não observadas na estimação utilizando PLS-PM, uma área em crescimento (HENSELER; HUBONA; RAY, 2016).

Os algoritmos genéticos são um conjunto de técnicas de busca e otimização que seguem os princípios da evolução natural. Em seu uso os parâmetros de busca são denominados cromossomos, e fazem parte de uma população. Inicialmente uma população aleatória é criada, utilizando dados aleatórios em seus cromossomos (MAULIK; BANDYOPADHYAY, 2000).

A partir da população inicial criada, é adotado um modelo de sobrevivência do mais apto (sendo a aptidão baseada na função objetivo da segmentação, quanto mais perto do objetivo, mais apto), em que apenas os cromossomos mais adaptados são selecionados para serem herdados por uma geração futura da população por meio de operadores biológicos como mutação e cruzamento (MAULIK; BANDYOPADHYAY, 2000).

O objetivo da PLS-GAS é localizar os segmentos com a menor soma de residuais do modelo interno e do modelo externo, ou seja, minimizar a equação apresentada em (87).

$$F_i = \sum_{nmk} \sigma_{nmk}^2 + \sum_{nlk} \zeta_{nlk}^2 \quad (87)$$

Para isso os seguintes passos são adotados:

- 1) Inicia-se a população com um número pré-determinado de indivíduos, atribuindo para cada indivíduo segmentos aleatórios para cada um dos manifestos originais.
- 2) A cada um dos segmentos criados é aplicado o algoritmo PLS-PM, seus respectivos residuais são cálculos e sua adequação é calculada como previamente apresentado em (87).
- 3) Cada um dos índices de adequação dos indivíduos é utilizado como probabilidade em uma seleção conhecida como *Roulette Wheel*.
- 4) Os dados selecionados podem sofrer cruzamentos ou mutações, de acordo com probabilidades definidas pelo operador, criando novos segmentos em uma nova população (geração).
- 5) Para a nova geração, são repetidos os passos 2 ao 4, até que um número máximo de gerações (iterações) seja alcançado.

Na seleção natural, a probabilidade de um indivíduo ser selecionado é apresentada na equação (88) e é relacionada ao nível de adequação do indivíduo e ao número total de adequações na população.

$$\rho_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^N F_j} \quad (88)$$

### 3.2.6.2.5 Segmentação por enxame de partículas

Algoritmos de inteligência de enxame são aqueles nos quais o comportamento coletivo dos indivíduos seguem padrões inspirados em inteligência coletiva, estando entre os mais populares o *Ant Colony Optimization* (responsável por investigar algoritmos probabilísticos inspirados no comportamento das formigas) e o *Particle Swarm Optimization* (responsável por investigar algoritmos probabilísticos inspirados, por exemplo, no pastoreio) (BROWNLEE, 2011).

Na *Particle Swarm Optimization* as partículas são atualizadas em relação as suas posições atuais, modificadas a cada iteração pela sua respectiva velocidade, conforme apresentado na equação (89) e na (90).

$$v_n = v_{n-1} + C_1 \cdot r_1 \cdot (pos_{pbest} - pos_{n-1}) + C_2 \cdot r_2 \cdot (pos_{gbest} - pos_{n-1}) \quad (89)$$

$$pos_n = pos_{n-1} + v_n \quad (90)$$

Onde:

$C_1$  e  $C_2$  - pesos relativos respectivamente à importância da partícula e do enxame

$pos_{pbest}$  - melhor posição já atingida pela partícula

$pos_{gbest}$  - melhor posição global do enxame

Pela popularidade do *Particle Swarm Optimization* (PSO), neste trabalho testa-se a sua adequação à segmentação em PLS-PM. Contudo, seu uso é mais adequado para variáveis contínuas, portanto, para adequar à PSO (KENNEDY; EBERHART, 1995) ao problema de segmentação presente, foi utilizada a técnica CPSO (*Combinatorial Particle Swarm Optimization*) apresentada por Jarboui et al. (2007) visando problemas de otimização combinatória.

Na CPSO as indicações dos agrupamentos em que cada observação pertence são compreendidas como posições, e atualizadas a cada interação. O cálculo da posição atual de cada indicador também se baseia em um cálculo de velocidade.

A velocidade das partículas é atualizada conforme apresentado em (91), em que  $y_n$  é uma variável utilizada para permitir a transição do estado combinatorio para o contínuo, conforme (92).

$$v_n = v_{n-1} + C_1 \cdot r_1 \cdot (-1 - cc_n) + C_2 \cdot r_2 \cdot (1 - cc_n) \quad (91)$$

$$cc_n = \begin{cases} 1 & \text{se } x = pos_{gbest} \\ -1 & \text{se } x = pos_{pbest} \\ -1 \text{ ou } 1 & \text{aleatório se } (x = pos_{gbest} = pos_{pbest}) \\ 0 & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (92)$$

Desta forma, a variação de velocidade depende da variável  $y_n$ , que é posteriormente ajustada antes de interferir na posição das partículas, conforme (93).

$$cc_n = \begin{cases} 1 & \text{se } y_{n-1} + v_n > \text{ajuste} \\ -1 & \text{se } y_{n-1} + v_n < -\text{ajuste} \\ 0 & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (93)$$

A posição atual de cada partícula é então atualizada conforme (94)

$$pos = \begin{cases} pos_{gbest} & \text{se } cc_n = 1 \\ pos_{pbest} & \text{se } cc_n = -1 \\ \text{numero aleatório} & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (94)$$

Valores pequenos definidos para o ajuste forçam o algoritmo a tender a assumir os valores de  $pos_{gbest}$  ou  $pos_{pbest}$  (intensificação), enquanto valores grande forçam o algoritmo a assumirem valores diferentes (diversificação).

Na proposição do uso da CPSO para a segmentação da PLS-PM, em um algoritmo doravante definido como PLS-CPSO tem-se o mesmo objetivo definido anteriormente de localizar os segmentos com a menor soma de residuais do modelo interno e do modelo externo.

### 3.2.6.2.6 Segmentação por misturas finitas

Proposto por Hahn et al., (2002) e mais tarde adaptado por outros pesquisadores (RINGLE, 2006; SARSTEDT et al., 2011), o método FIMIX-PLS busca combinar a PLS-PM com a classificação provinda de misturas finitas. Modelos de mistura são modelos probabilísticos que visam representar a presença de subpopulações dentro de uma população geral, sem exigência de segmentação prévia a partir de uma distribuição de misturas (ponderada por pesos).

Diversos métodos de segmentação sugerem o uso de misturas finitas como método prévio para determinar o número de segmentos a serem buscados (RINGLE et al., 2013; SCHLITTEGEN et al., 2016) devido à existência de índices concretos de adequação.

O método FIMIX-PLS tem como base a função densidade probabilidade de uma distribuição multivariada normal, apresentada na equação (95).

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{K/2} \sqrt{|cor|}} e^{(-\frac{1}{2}(x-\bar{x})'cor^{-1}(x-\bar{x}))} \quad (95)$$

Na adaptação para a PLS-PM, as variáveis de interesses são os escores das variáveis latentes ( $Y$ ), que são posteriormente divididos em escores das variáveis latentes endógenas (independentes e simbolizadas por  $\eta$ ) e escores das variáveis latentes exógenas (dependentes, simbolizadas por  $\xi$ ).

Assume-se que  $\eta_i$  é distribuído em função de mistura finita de densidades normais multivariadas condicionais, conforme (96).

$$\begin{aligned} \eta_i &\sim \sum_{seg=1}^{SEG} \rho_{seg} f(\eta_i | \xi_i, B_{seg}, \Gamma_{seg}, \Psi_{seg}) \\ &= \sum_{seg=1}^{SEG} \rho_{seg} \frac{1}{(2\pi)^{Q/2} \sqrt{|\Psi_{seg}|}} e^{(-\frac{1}{2}(B_{seg}\eta + \Gamma_{seg}\xi)' \Psi_{seg}^{-1} (B_{seg}\eta + \Gamma_{seg}\xi))} \end{aligned} \quad (96)$$

Onde:

SEG – número de segmentos definidos;

$N_\eta$  – número de variáveis latentes endógenas;

$B$  – matriz dos coeficientes de caminho entre as variáveis latentes endógenas;

$\Gamma$  – matriz dos coeficientes de caminho relacionados as variáveis latentes exógenas;

$\Psi$  – matriz diagonal com a variâncias das regressões dos coeficientes de caminho;

$\rho_s$  – vetor das proporções das misturas finitas de cada segmento.

As proporções de mistura dos segmentos estão sujeitas a

$$\rho_{seg} > 0, \forall_{seg} \text{ e } \sum_{seg=1}^{SEG} \rho_{seg} = 1 .$$

É importante frisar que os coeficientes de caminho passam a ser estimados por mínimos quadrados ponderados relacionados as proporções das misturas finitas de cada uma das variáveis observáveis.

Supondo que o vetor  $\eta_i$  seja independente, sua função de verossimilhança é dada por (97).

$$fL = \prod_{i=1}^I \left( \sum_{seg=1}^{SEG} \rho_{seg} \frac{1}{(2\pi)^{N\eta/2} \sqrt{|\Psi_{seg}|}} e^{(-1/2(B_{seg}\eta_i + \Gamma_{seg}\xi_i)' \Psi_{seg}^{-1} (B_{seg}\eta_i + \Gamma_{seg}\xi_i))} \right) \quad (97)$$

O modelo é posteriormente estimado por meio do algoritmo de expectativa e maximização (EM) para maximizar a função log-verossimilhança<sup>62</sup>. O algoritmo é dividido uma parte relativa à expectativa (*E-step*) e uma parte relativa à maximização (*M-step*).

Antes de iniciar o algoritmo EM, o PLS-PM é rodado, e os escores das variáveis latentes são utilizados para começar o processo de maximização. Deste escores, as proporções das misturas finitas recebem pesos iniciais aleatórios, e uma estimação inicial é realizada para  $B_{seg}, \Gamma_{seg}, \Psi_{seg}, \forall_{seg}$ .

O algoritmo é iniciado com a realização de um passo de expectativa (*E-step*), em que novas proporções de mistura  $\rho$  são estimadas.

No passo de maximização (*M-step*), as novas proporções de mistura são utilizadas na nova estimação de  $B_{seg}, \Gamma_{seg}, \Psi_{seg}, \forall_{seg}$ , por meio de mínimos quadrados ponderados. A cada nova maximização a função

<sup>62</sup> A função log é uma função monótona.

log-verossimilhança (98) é estimada a fim de averiguar a convergência desejada foi alcançada.

$$\ln fL = \sum_{i=1}^I \sum_{seg=1}^{SEG} \ln(f(n_i | \xi_i, B_{seg}, \Gamma_{seg}, \Psi_{seg})) \quad (98)$$

Sugere-se que o FIMIX-PLS seja rodado diversas vezes a fim de verificar se ele não está convergindo para um mínimo local (HAHN et al., 2002; SARSTEDT et al., 2011).

Sendo o número inicial de segmentos desconhecidos, recomenda-se a repetição do algoritmo para diferentes combinações e a posterior aplicação de índices de adequação, tais como o AIC (*Akaike's Information Criteria*), apresentado em (99) (AKAIKE, 1974) ou o BIC (*Bayesian Information Criteria*) apresentado em (100) (SCHWARZ, 1978).

$$AIC_{seg} = -2 \ln fL + 2N_{seg} \quad (99)$$

$$BIC_{seg} = -2 \ln fL + \ln(I)N_{seg} \quad (100)$$

Em que  $N_{SEG}$  representa o número de parâmetros livres como em (101), sendo R é o número total de variáveis preditoras em todas as regressões do modelo.

$$N_{SEG} = (SEG - 1) + KR + KN_{\eta} \quad (101)$$

Por fim, para diferentes números de segmentos utilizados como entrada do FIMIX-PLS, seleciona-se como adequado o número de segmentos com maior índice de adequação.

### 3.3 REGRESSÃO FUZZY

A regressão *fuzzy* foi proposta na literatura como forma de considerar as incertezas dos coeficientes de uma regressão linear, para, por exemplo, adicionar as incertezas da condição humana a uma análise (TANAKA; HAYASHI; WATADA, 1989; TANAKA; LEE, 1998; TANAKA; UEJIMA; ASAI, 1982).

Este tipo de análise foi inicialmente proposta por Tanaka et al. (1982) com base nos conceitos das funções difusas (*fuzzy*) apresentadas

por Zadeh (1973) que buscavam levar em conta as incertezas naturais presentes nos fenômenos.

Enquanto que, para as regressões lineares tradicionais o desvio entre os valores observados e os estimados eram identificados como erros nas observações, Tanaka et al. (1982) assumiram que essas diferenças ocorriam por causa da difusão ou vagueza do sistema mensurado. Dessa forma, os parâmetros *fuzzy* de um sistema linear mensurado pelo modelo proposto pelos autores correspondem a distribuição de possibilidade do sistema, sendo responsáveis por medir a sua incerteza.

### 3.3.1 Regressão Possibilística

Por gerar parâmetros correspondentes a distribuição de possibilidade de um sistema, o modelo de Tanaka et al. (1982) ficou conhecido na literatura como regressão possibilística e tem como forma geral a equação apresentada em (102).

$$\tilde{y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_n x_n \quad (102)$$

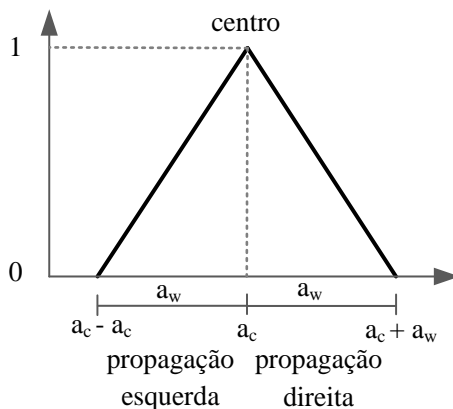
Sendo  $x = [x_0, x_1, \dots, x_n]^T$  um vetor de variáveis independentes e  $\tilde{A} = [\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n]^T$  um vetor de coeficientes *fuzzy* denotados na forma de uma função de pertinência triangular por  $\tilde{A}_j = (a_c, a_w)$ , tendo a sua pertinência descrita por (103).

$$u_{\tilde{A}_j}(a_x) = \begin{cases} 1 - \frac{|a_c - a_x|}{a_w}, & a_c - a_w \leq a_x \leq a_c + a_w, \quad \forall j = 1, 2, \dots, N \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (103)$$

Sendo  $a_c$  e  $a_w$  respectivamente o ponto central e a dispersão máxima considerada da função, conforme apresentado na Figura 25.



Figura 25 - Função de pertinência triangular.



Fonte: o autor.

Dessa forma, a regressão apresentada em (102) pode ser reescrita como em (104).

$$\tilde{y} = (a_{c0}, a_{w0}) + (a_{c1}, a_{w1})x_1 + \dots + (a_{cn}, a_{wn})x_n \quad (104)$$

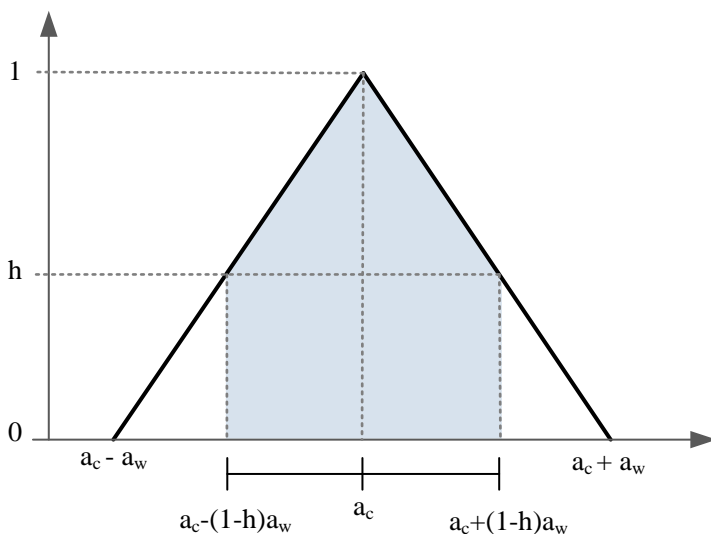
Ou na formulação geral apresentada em (105).

$$\tilde{y} = (a_{c0}, a_{w0}) + \sum_{j=1}^n (a_{cn}, a_{wn})x_{ij} \quad (105)$$

De forma diferente da regressão tradicional, o desvio entre os dados e o modelo estimado dependem da imprecisão dos parâmetros e não dos erros de medição, neste mister o modelo de Tanaka propõe que para minimizar a incerteza do modelo a ser estimado pode-se minimizar o espalhamento total dos coeficientes *fuzzy* do sistema (ROMANO, 2007).

Este espalhamento pode depender ainda de um grau de pertinência conhecido como “fator h”, definido pelo operador e que especifica o grau de viabilidade das condições do sistema (SHAPIRO, 2005). Quanto maior for o grau de viabilidade, maior é o espalhamento do sistema, conforme ilustrado na Figura 26.

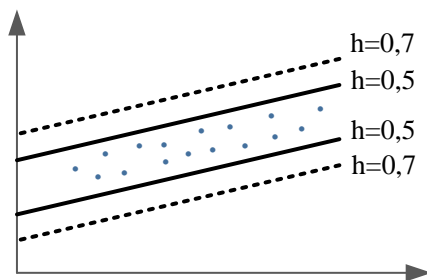
Figura 26 - Função de pertinência triangular considerando o intervalo  $h$ .



Fonte: o autor.

A Figura 27 ilustra o comportamento do espalhamento do sistema com o incremento do fator  $h$ , tanto para a direita quanto para a esquerda da parte central do sistema. Tanaka e Guo (1999) sugerem que o índice  $h$  pode ser mantido em 0 se a quantidade de dados for considerada suficiente, contudo, se a quantidade de dados for apenas metade do que seria adequado, pode-se manter o índice  $h$  em 0,5.

Figura 27 - Exemplo de aumento do intervalo *fuzzy* com o incremento do fator  $h$ .



Fonte: adaptado de Shapiro (2005).

A partir dessas considerações, Tanaka et al. (1982) reduziram a regressão possibilística a um problema de programação linear<sup>63</sup> cujo objetivo é minimizar o espalhamento do sistema, ou, as suas incertezas, conforme apresentado em (106) sujeito às restrições presentes em (107).

$$\min_{a_c, a_w} J = \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \quad (106)$$

$$\begin{aligned} \text{sujeito à} \quad & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \right) \leq y_j \\ & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \right) \geq y_j \\ & a_w > 0 \end{aligned} \quad (107)$$

Embora ainda presente na literatura devido à sua facilidade de implementação e menor custo computacional comparado a modelos aprimorados (CHAN; WUZ, 2007; ROMANO, 2007; SHAPIRO, 2005), a regressão possibilística utilizando programação linear tem recebido várias críticas, algumas delas são listadas por Shapiro (2005):

- O modelo apresentado por Tanaka se assemelha a regressão linear, mas não há evidências de como ele se relaciona com o conceito clássico de mínimos quadrados (DIAMOND, 1988).
- Alta sensibilidade a *outliers*<sup>64</sup>;
- Tendência a se tornar multicolinear conforme maior número de variáveis independentes são coletadas;
- Não há interpretação propícia a respeito do intervalo de regressão *fuzzy*.

Neste mister, a literatura vem apresentando alternativas para a regressão possibilística utilizando programação linear, tais como: regressão *fuzzy* utilizando mínimos quadrados (DIAMOND, 1988), regressão *fuzzy* rígida<sup>65</sup> (DONOSO, 2006), regressão linear *fuzzy* por partes<sup>66</sup> (BISSERIER; GALICHET; BOUKEZZOULA, 2008; YU; TZENG; LI,

<sup>63</sup> Para as otimizações presentes neste trabalho, foi utilizado o *solver* Gurobi (GUROBI OPTIMIZATION, 2016).

<sup>64</sup> Valores atípicos que apresentam grande afastamento dos demais.

<sup>65</sup> *Ridge regression*.

<sup>66</sup> *Piecewise regression*.

1999), regressão *fuzzy* com redes neurais lineares (ISHIBUCHI; TANAKA, 1992) e não lineares (PANDIT, 2014).

O próprio Tanaka continuou trabalhando no aprimoramento do modelo, um deles utilizando programação quadrática, que segundo o autor, aumenta a tendência dos coeficientes de se tornarem difusos quando comparado ao modelo inicial (TANAKA; HAYASHI; WATADA, 1989).

A regressão possibilística utilizando programação quadrática parte da minimização quadrática do espalhamento da função, conforme apresentado em (108).

$$\min_{a_c, a_w} J = \sum_{i=1}^n (a_{iw}^t |x_{ij}|)^2 \quad (108)$$

A função pode ser reescrita como apresentado em (109), com o acréscimo de um novo termo, em que  $\xi$  é um número positivo suficientemente pequeno, de modo que o termo  $\xi a_{ic}^t a_{ic}$  seja adicionado à função objetiva para que (108) seja estritamente convexa<sup>67 68</sup>. As restrições da função continuam as mesmas, conforme apresentado em (110).

$$\min_{a_c, a_w} J = a_{iw}^T \left( \sum_{i=1}^n |x_{ij}| |x_{ij}|^T \right) a_{iw} + \xi a_{ic}^T a_{ic} \quad (109)$$

$$\begin{aligned} \text{sujeito à } & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \right) \leq y_j \\ & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \right) \geq y_j \\ & a_w > 0 \end{aligned} \quad (110)$$

Para permitir uma otimização capaz de diferenciar a possibilidade de propagação esquerda da possibilidade de propagação direita, pode-se reescrever a regressão possibilística quadrática como em (111), sujeitas as restrições apresentadas em (112).

<sup>67</sup> Funções convexas são aquelas em que o segmento de linha entre dois pontos localizados no gráfico da função estão acima ou exatamente sobre o gráfico. Funções estritamente convexas possuem os segmentos de linha necessariamente acima do gráfico.

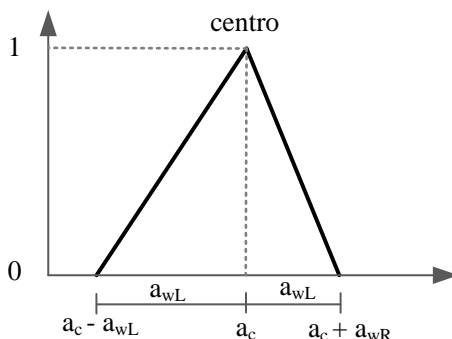
<sup>68</sup> Funções quadráticas e exponenciais são exemplos comuns de funções convexas.

$$\min_{a_c, a_{wL}, a_{wR}} J = (a_{iwL} + a_{iwR})^T \left( \sum_{i=1}^n |x_{ij}| |x_{ij}|^T \right) (a_{iwL} + a_{iwR}) + \xi a_{ic}^T a_{ic} \quad (111)$$

$$\begin{aligned} \text{sujeito à} \quad & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iwL} x_{ij} \right) \leq y_j \\ & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iwR} x_{ij} \right) \geq y_j \quad (112) \\ & a_{wL} > 0 \\ & a_{wR} > 0 \end{aligned}$$

A partir dessa modificação a otimização passa a considerar uma função de pertinência triangular não simétrica, conforme apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Função de pertinência triangular não simétrica.



Fonte: o autor.

### 3.3.2 Regressão Híbrida

As críticas ao modelo inicial de Tanaka, inclusive da incerteza de como ele se relaciona com o modelo tradicional de regressão de mínimos quadrados (DIAMOND, 1988) levaram a criação de modelos híbridos.

Um desses modelos utiliza a integração da tendência central (provinha dos mínimos quadrados) com a propriedade possibilística (TANAKA; LEE, 1998). Neste modelo busca-se minimizar o somatória das distância quadradas entre os centros estimados dos coeficientes e as

saídas observadas, conforme (113), em uma maneira correspondente ao conceito dos mínimos quadrados.

$$\sum_{i=1}^n (y_j - a_c^t x_{ij})^t \quad (113)$$

A partir deste conceito foi proposta por Tanaka e Lee (1998) uma nova função objetivo que combina os conceitos de mínimos quadrados de (113) com os conceitos possibilísticos, conforme apresentado em (114), sujeito às restrições apresentadas em (115).

$$\min_{a_c, a_w} J = k_1 \sum_{i=1}^n (y_j - a_{ic}^T x_{ij})^2 + k_2 \sum_{i=1}^n a_{iw}^T |x_{ij}|^T |x_{ij}| a_{iw} \quad (114)$$

$$\begin{aligned} \text{sujeito à } & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \right) \leq y_j \\ & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \right) \geq y_j \\ & a_w > 0 \end{aligned} \quad (115)$$

Neste aspecto, os coeficientes  $k_1$  e  $k_2$  são pesos arbitrados pelo pesquisador de modo a aumentar ou diminuir respectivamente a importância da tendência central e da propriedade possibilística. Contudo, isto implica em mais variáveis a serem definidas pelo operador no ajuste do sistema, o que pode elevar seu grau de complexidade.

Ainda mantendo a tendência central do modelo, mas sem as mazelas relacionadas à inclusão de novas variáveis, Savic e Pedrycz (1991) introduziram uma regressão *fuzzy* em dois estágios até hoje considerada importante pelos seus resultados e baixo custo computacional (CHAN; WUZ, 2007). Na regressão *fuzzy* em dois estágios, primeiros são definidas as tendências centrais do modelo, tipicamente por mínimos quadrados ordinários, que são posteriormente utilizadas como variáveis conhecidas na otimização.

Seja  $a_c$  um vetor de tendências centrais previamente definido, a regressão *fuzzy* em dois estágios pode determinar o espalhamento como em (116) sujeito às condições apresentadas em (117).

$$\min_{a_w} J = \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \quad (116)$$

$$\begin{aligned} \text{sujeito à } & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \right) \leq y_j \\ & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iw} x_{ij} \right) \geq y_j \\ & a_w > 0 \end{aligned} \quad (117)$$

Esse modelo pode ser expandido para utilizar programação quadrática de forma a aumentar a tendência difusa dos coeficientes. Reescrevendo (116) em sua forma quadrática, é possível chegar a (118), muito semelhante ao modelo de Tanaka; Hayashi e Watada (1989), porém, sem a necessidade de adição do  $\xi a_{ic}^t a_{ic}$  pois o vetor  $a_c$  já é definido no primeiro estágio da regressão e não necessita ser otimizado, fazendo com a função seja naturalmente estritamente convexa.

$$\min_{a_w} J = a_{iw}^T \left( \sum_{i=1}^n |x_{ij}| |x_{ij}|^T \right) a_{iw} \quad (118)$$

Com a regressão *fuzzy* em dois estágios é possível manter a tendência central original do modelo, que pode ser substituída por outros tipos de estimação (*ridge*, *minimax*), e minimizar os espalhamentos com base nestes valores para incluir as incertezas humanas no modelo.

### 3.3.3 Índice de Confiabilidade

Como forma de interpretar os resultados de uma regressão *fuzzy* e colaborar para a interpretação a respeito do intervalo de regressão, Wang e Tsaur (2000) propuseram um índice de confiabilidade que mede a variação entre os limites inferior e superior da variável independentes.

Para tanto, considera-se que  $y_n$  e  $\bar{y}_n$  sejam respectivamente os limites inferior e superior de uma estimação *fuzzy*  $\tilde{y}_n^*$ . Em modelos com coeficientes simétricos, o valor médio de  $\tilde{y}_n^*$  pode ser estimado como em (119).

$$\tilde{y}_n = \frac{y_n + \bar{y}_n}{2} \quad (119)$$

O valor estimado  $\tilde{y}_n$  é igual ao valor que ocorre utilizando o maior fator  $h$  possível ( $h = I$ ), denotado como  $\tilde{y}_n^1$ . Define-se  $\tilde{y}_n^1$  como o valor que melhor representa o intervalo possibilístico de uma regressão, sendo a linha de regressão  $\tilde{y}^1$  a que melhor interpreta um dado conjunto de dados (WANG; TSAUR, 2000). A partir destes dados, as seguintes quantidades são definidas:

- Soma Total dos Quadrados (*Total Sum of Squares - SST*): mede a variação total de  $y_n$  em  $\tilde{y}_n^*$ , calculada como em (120).

$$SST = \sum_{n=1}^N (y_n - \underline{y}_n)^2 + \sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - y_n)^2 \quad (120)$$

- Soma dos Quadrados da Regressão (*Regression Sum of Squares - SSR*): mede a variação de  $\tilde{y}_n^1$  em  $\tilde{y}_n^*$ , sendo calculada como em (121).

$$SSR = \sum_{n=1}^N (\tilde{y}_n^1 - \underline{y}_n)^2 + \sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - \tilde{y}_n^1)^2 \quad (121)$$

- Soma dos Erros Quadrados (*Error Sum of Squares - SSE*): uma estimação da diferença a respeito de  $\tilde{y}_n^1$  sendo utilizado para estimar  $y_n$ , calculada como em (122).

$$SSE = 2 \sum_{n=1}^N (\tilde{y}_n^1 - y_n)^2 \quad (122)$$

O índice de confiabilidade é calculado como em (123), e quanto maior for, maior é a representação do sistema pela regressão realizada.

$$IC = \frac{SSR}{SST} \quad (123)$$



O fator  $h$  está diretamente relacionado ao índice de confiabilidade, sendo diretamente proporcional ao seu incremento (WANG; TSAUR, 2000).

### 3.4 PLS-PM POSSIBILÍSTICO

Alternativas utilizando regressão possibilística no algoritmo da PLS-PM já foram descritos na literatura na forma da *Fuzzy* PLS-PM (FPL-PM) na qual a estimação dos coeficientes de caminho foi substituída por regressão possibilística utilizando programação linear (PALUMBO; ROMANO; VINZI, 2008; ROMANO, 2007).

Neste trabalho, para considerar as incertezas da condição humana no modelo a ser estimado, propõe-se adaptações ao algoritmo da PLS-PM com bases no *Fuzzy* PLS-PM (ROMANO, 2007), em que os coeficientes de caminho passam a ser estimados por programação quadrática utilizando funções estritamente convexas a fim de maximizar a identificação de espaçamentos no modelo (TANAKA; LEE, 1998), levando em consideração também a influência da estimação central do modelo (conceito dos mínimos quadrados).

#### 3.4.1 qQP-PLS-PM

O primeiro algoritmo modificado emprega em suas regressões os conceitos de Tanaka e Lee (1998) com a modificação sugerida em Donoso (2006), para incluir os conceitos de uma função de pertinência *fuzzy* triangular não-simétrica ao modelo híbrido, conforme (124) sujeito às restrições apresentadas em (125).

$$\min_{a_c, a_{wL}, a_{wR}} J = k_1 \sum_{i=1}^n (y_j - a_c^T x_{ij})^2 + k_2 \sum_{i=1}^n |x_{ij}|^T |x_{ij}| (a_{iwL}^T a_{iwL} + a_{iwR}^T a_{iwR}) \quad (124)$$

$$\begin{aligned} \text{sujeito à } & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iwL} x_{ij} \right) \leq y_j \\ & \left( \sum_{i=1}^n a_{ic} x_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n a_{iwR} x_{ij} \right) \geq y_j \quad (125) \\ & a_{wL} > 0 \\ & a_{wR} > 0 \end{aligned}$$

O que se propõe é que a regressão realizada por meio da otimização apresentada em (124) seja utilizada em substituição à regressão linear por meio dos mínimos quadrados ordinários na estimação dos pesos internos e dos coeficientes de caminho.

- Nova estimação dos pesos internos

O uso da regressão *fuzzy* na estimação dos pesos internos gera um novo *scheme*, que será identificado por *fuzzy path scheme*, conforme apresentado em (126).

$$e_{ji} = \begin{cases} \min_{e_c, e_{wL}, e_{wR}} \begin{cases} \begin{aligned} & \text{cor}(Y_j, Y_i) \\ & k_1 \sum_{i=1}^n (Y_j - e_c^T Y_{ij})^2 + \\ & k_2 \sum_{i=1}^n |Y_{ij}|^T |Y_{ij}| (e_{iwL}^T e_{iwL} + e_{iwR}^T e_{iwR}) \end{aligned} \end{cases} \end{cases} \begin{array}{l} LV_j \rightarrow LV_i \\ LV_i \rightarrow LV_j \end{array} \quad (126)$$

A minimização quando  $LV_i \rightarrow LV_j$  fica sujeita à (127).

$$\begin{aligned} \text{sujeito à } & \left( \sum_{i=1}^n e_{ic} Y_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n e_{iwL} Y_{ij} \right) \leq Y_j \\ & \left( \sum_{i=1}^n e_{ic} Y_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n e_{iwR} Y_{ij} \right) \geq Y_j \quad (127) \\ & e_{wL} > 0 \\ & e_{wR} > 0 \end{aligned}$$

- Nova estimação dos coeficientes de caminho

Para a nova estimação dos coeficientes de caminho, realiza-se a otimização quadrática presente em (128) sujeita a (129), onde  $\tilde{\beta}_{ij}$  é um número *fuzzy* denotado por  $(\beta_L; \beta_C; \beta_R)$ , que são respectivamente seu espalhamento esquerdo, tendência central e espalhamento direito.

$$\tilde{\beta}_{ij} = \min_{\beta_c, \beta_{wL}, \beta_{wR}} \begin{pmatrix} k_1 \sum_{i=1}^n (Y_j - \beta_c^T Y_{ij})^2 + \\ k_2 \sum_{i=1}^n |Y_{ij}|^T |Y_{ij}| (\beta_{iwL}^T \beta_{iwL} + \beta_{iwR}^T \beta_{iwR}) \end{pmatrix} \quad (128)$$

$$\text{sujeito à } \begin{pmatrix} \left( \sum_{i=1}^n \beta_{ic} Y_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n \beta_{iwL} Y_{ij} \right) \leq Y_j \\ \left( \sum_{i=1}^n \beta_{ic} Y_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n \beta_{iwR} Y_{ij} \right) \geq Y_j \end{pmatrix} \quad (129)$$

$$\beta_{wL} > 0$$

$$\beta_{wR} > 0$$

O algoritmo proposto é apresentado no Quadro 22 e é identificado como *quasi*<sup>69</sup>-*Quadratic Possibilistic Partial Least Squares Path Modeling* (qQP-PLS-PM).

Quadro 22 - Algoritmo da qQP-PLS-PM.

<b>Algoritmo:</b> PLS Path Modeling com <i>fuzzy scheme</i> e regressão <i>quasi</i> -possibilística quadrática
<b>Entrada:</b> $X = [X_1, \dots, X_j, \dots, X_J]$ , com $J$ blocos de variáveis;
<b>Saída:</b> $w_j, Y_j, \beta_{ij}, \lambda_{jk}$ ;
0: inicializa $w_j$
1: <b>para todo</b> $j = 1, \dots, J$ <b>faça</b>
2: $Y_j = \sum_k w_{jk} X_{jk}$

<sup>69</sup> A designação *quasi* refere-se ao fato do modelo utilizar a regressão possibilística híbrida apenas na identificação dos coeficientes do caminho, e não na designação dos pesos internos. Modelos totalmente possibilísticos já foram propostos na literatura na forma da *Partial Possibilistic Regression Path Modeling* (PPRPM) e da sua versão robusta (*Robust Partial Possibilistic Regression Path Modeling*) que não são considerados algoritmos de PLS-PM por não buscarem a minimização da soma das variâncias residuais das variáveis dependentes do modelo, tornando-a então um novo modelo de modelagem de equações estruturais, não sendo baseado em variância nem covariância.

- 3: 
$$e_{ji} = \begin{cases} \min \begin{cases} k_1 \sum_{i=1}^n (Y_j - e_c^T Y_{ij})^2 + & LV_j \rightarrow LV_i \\ k_2 \sum_{i=1}^n |Y_{ij}|^T |Y_{ij}| (e_{iwL} ' e_{iwL} + e_{iwR} ' e_{iwR}) & LV_i \rightarrow LV_j \end{cases} \end{cases}$$
- 4: 
$$Z_j = \sum_{i \leftrightarrow j} e_{ij} Y_i$$
- 5: atualiza.  $w_j$  .:
- (a)  $w_{jk} = cor(X_{jk}, Z_j)$  para *Modo A*
- (b)  $w_j = (X_j' X_j)^{-1} X_j' Z_j$  para *Modo B*
- 6: se  $|w_{jk}^{s-1} - w_{jk}^s| < \Delta$
- 7: 
$$Y_j = \sum_k w_{jk} X_{jk}$$
- 8: 
$$\tilde{\beta}_{ij} = \min_{\beta_c, \beta_{wL}, \beta_{wR}} \begin{pmatrix} k_1 \sum_{i=1}^n (Y_j - \beta_c^T Y_{ij})^2 + \\ k_2 \sum_{i=1}^n |Y_{ij}|^T |Y_{ij}| (\beta_{iwL}^T \beta_{iwL} + \beta_{iwR}^T \beta_{iwR}) \end{pmatrix}$$
- sujeito à 
$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \beta_{ic} Y_{ij} \end{pmatrix} - (1-h) \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \beta_{iwL} Y_{ij} \end{pmatrix} \leq Y_j$$
- $$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \beta_{ic} Y_{ij} \end{pmatrix} + (1-h) \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \beta_{iwR} Y_{ij} \end{pmatrix} \geq Y_j$$
- $$\beta_{wL} > 0$$
- $$\beta_{wR} > 0$$
- 9: 
$$\lambda_{jk} = cor(X_{jk}, Y_j)$$
- 10: **senão**
- 11: repete até a convergência
- 12: **fim se**
- 13: **fim para**

Fonte: o autor

### 3.4.2 TSqQP-PLS-PM

O algoritmo qQP-PLS-PM é capaz de se aproximar da tendência central do modelo tradicional, se afastando das críticas presentes à regressão possibilística pura. Isto, contudo, gera novas variáveis que devem ser definidas pelo operador ao realizar a modelagem de equações estruturais, devendo conhecer previamente os seus dados para definir quais tipos de informação deseja extrair.

Neste sentido, cabe ao operador, usuário da PLS-PM tomar os devidos cuidados no momento do desenvolvimento da pesquisa e na apresentação dos resultados científicos que fizerem uso da técnica, para que o desenvolvimento teórico daí decorrente não seja prejudicado pelo mau uso da técnica.

Para minimizar as decisões cabíveis ao operador, uma alternativa consiste em calcular os coeficientes de caminho em dois estágios, utilizando a regressão *fuzzy* proposta por Savic e Pedrycz (1991).

O primeiro passo consiste em definir as tendências centrais por meio da regressão por mínimos quadrados ordinários, gerando o vetor  $\beta_c$  conforme (130).

$$\beta_{ic} = (Y_i'Y_i)^{-1}Y_i'Y_j \quad (130)$$

Os coeficientes do vetor  $\beta_c$  passam a ser utilizados como constantes nas restrições da otimização do espalhamento dos coeficientes de caminho, buscando minimizar a equação (131) sujeita as restrições apresentadas em (132).

$$\tilde{\beta}_{ij} = \min_{\beta_{wL}, \beta_{wR}} J = (\beta_{iwL} + \beta_{iwr})^T \left( \sum_{i=1}^n |x_{ij}| |x_{ij}|^T \right) (\beta_{iwL} + \beta_{iwr}) \quad (131)$$

$$\text{sujeito à } \begin{cases} \left( \sum_{i=1}^n \beta_{ic} Y_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n \beta_{iwL} Y_{ij} \right) \leq Y_j \\ \left( \sum_{i=1}^n \beta_{ic} Y_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n \beta_{iwr} Y_{ij} \right) \geq Y_j \end{cases} \quad (132)$$

$$\beta_{wL} > 0$$

$$\beta_{wR} > 0$$

A função é também mantida quadrática para aumentar a tendência dos coeficientes se tornarem difusos (TANAKA; HAYASHI; WATADA, 1989). Neste caso, como o vetor  $\beta_c$  é formado por constantes, não há a necessidade de alterar a função custo como feito anteriormente em (109), pois ela já é estritamente convexa.

O algoritmo proposto é apresentado no Quadro 23 e é identificado como Two Stage *quasi-Quadratic Possibilistic Partial Least Squares Path Modeling* (TSqQP-PLS-PM).

Quadro 23 - Algoritmo da TSqQP-PLS-PM.

**Algoritmo:** PLS Path Modeling com *path scheme* e regressão *quasi-possibilística quadrática* em dois estágios

**Entrada:**  $X = [X_1, \dots, X_j, \dots, X_J]$ , com  $J$  blocos de variáveis;

**Saída:**  $w_j, Y_j, \beta_{ij}, \lambda_{jk}$  ;

0: inicializa  $w_j$

1: **para todo**  $j = 1, \dots, J$  **faça**

$$2: \quad Y_j = \sum_k w_{jk} X_{jk}$$

$$3: \quad e_{ji} = \underbrace{\begin{cases} \text{cor}(Y_j, Y_i) & LV_j \rightarrow LV_i \\ (Y_i' Y_i)^{-1} Y_i' Y_j & LV_i \rightarrow LV_j \end{cases}}_{\text{path scheme}}$$

$$4: \quad Z_j = \sum_{i \leftrightarrow j} e_{ij} Y_i$$

5: atualiza  $w_j$  :

$$(a) \quad w_{jk} = \text{cor}(X_{jk}, Z_j) \text{ para Modo A}$$

$$(b) \quad w_j = (X_j' X_j)^{-1} X_j' Z_j \text{ para Modo B}$$

6: **se**  $|w_{jk}^{s-1} - w_{jk}^s| < \Delta$

$$7: \quad Y_j = \sum_k w_{jk} X_{jk}$$

$$8: \quad \beta_{ic} = (Y_i' Y_i)^{-1} Y_i' Y_j$$

$$\tilde{\beta}_{ij} = \min_{\beta_{wL}, \beta_{wR}} J = \left( \begin{array}{c} (\beta_{iwL} + \beta_{iwR})^T \left( \sum_{i=1}^n |x_{ij}| |x_{ij}|^T \right) \\ (\beta_{iwL} + \beta_{iwR}) \end{array} \right)$$

$$\text{sujeito à } \begin{aligned} & \left( \sum_{i=1}^n \beta_{ic} Y_{ij} \right) - (1-h) \left( \sum_{i=1}^n \beta_{iwL} Y_{ij} \right) \leq Y_j \\ & \left( \sum_{i=1}^n \beta_{ic} Y_{ij} \right) + (1-h) \left( \sum_{i=1}^n \beta_{iwR} Y_{ij} \right) \geq Y_j \\ & \beta_{wL} > 0 \\ & \beta_{wR} > 0 \end{aligned}$$

9:  $\lambda_{jk} = \text{cor}(X_{jk}, Y_j)$   
10: **senão**  
11: repete até a convergência  
12: **fim se**  
13: **fim para**

### 3.5 IMPUTAÇÃO

Imputação consiste no processo de substituição de valores faltantes no conjunto de dados a ser analisado. Valores faltantes são considerados um problema comum em análises quantitativas e se torna necessário lidar com sua presença devido a maior parte das análises necessitarem de um conjunto de dados completo para serem efetuadas (BARALDI et al., 2010; PEUGH; ENDERS, 2004).

As técnicas de imputação a serem utilizadas dependem do mecanismo com que os dados estão faltando, sendo dois deles os mais comuns nas literatura (BARALDI et al., 2010):

***Missing Completely at Random (MCAR)***: o conceito de dados faltando completamente ao acaso implica que a probabilidade de existir um valor faltando no conjunto de dados é aleatório. Ou seja, não há conexão entre um dado faltante e qualquer outro dado do conjunto.

***Missing at Random (MAR)***: o conceito de dados faltando ao acaso indica que a probabilidade de existir um dado faltante no conjunto não é relacionada aos dados faltantes, mas é de alguma forma relacionada a alguma outra variável observada. Supõe-se que alguém ter ou não respondido um indicador do questionário pode estar conectado com os valores atribuídos a outras variáveis.

Do ponto de vista prático, torna-se difícil comprovar que os dados faltantes em um questionário correspondam ao mecanismo MCAR,

sendo importante frisar que essa característica não está ligada ao questionário em si, mas sim a análise realizada (BARALDI et al., 2010).

Compreendendo os possíveis tipos de mecanismos de dados faltantes, é importante compreender suas formas de tratamento. Técnicas consideradas simples no tratamento de dados faltantes consistem em excluir casos relacionados e apresentam resultados menos viesados para o mecanismo MCAR:

**Listwise Deletion:** esta técnica exclui totalmente uma observação caso ela possua algum valor faltante. Caso a consideração de que os dados faltantes ocorram de modo completamente aleatório (MCAR) seja verdadeira, esta técnica não alterará a covariância do conjunto de dados, mas pode diminuir sua potência estatística ao diminuir o tamanho da amostra (PEUGH; ENDERS, 2004).

**Pairwise Deletion:** visando manter a maior quantidade possível de informações em cada análise, a exclusão em pares apenas exclui os casos que exibem valores em falta em cada par de variáveis. Os valores médios e os desvios-padrão calculados através de eliminação em pares são baseados em todos os dados disponíveis para cada variável. As correlações são baseadas em todos os dados disponíveis para cada par de variáveis e novamente existe a imposição de MCAR (PEUGH; ENDERS, 2004).

Também comum na literatura são técnicas relacionadas à imputação de valores únicos, como a substituição pela média:

**Mean Value Replacement:** esta técnica substitui os valores faltantes pela média geral do indicador, ela não é recomendada pois apesar de manter a média da variável em questão, afeta a covariância do conjunto de dados (HAIR et al., 2017a).

Como alternativa, técnicas consideradas mais modernas tem surgido na literatura. Entre os métodos de imputação no estado-da-arte, citam-se três que vem sendo alvo constante de comparações na literatura atual: *K-Nearest Neighbors* (*k*-NN), *missForest* e *Multiple Imputation by Chained Equations* (MICE). Salienta-se que esses métodos não se encontram disponíveis nos programas voltados para PLS-PM presentes no mercado (RINGLE; WENDE; BECKER, 2015).

***K-Nearest Neighbors:*** no método de imputação conhecido como *k*-NN os valores faltantes são substituídos pela média ponderada de um número



---

pré-definido (pelo operador) de dados próximos. Os pesos de cada dado são inversamente proporcionais à distância (tipicamente euclidiana) do dado original utilizado (TROYANSKAYA et al., 2001).

Apresenta como vantagem em relação ao método comum de substituição pelas médias o fato do valor escolhido ser determinado apenas pelos casos semelhantes ao invés de todos os dados do conjunto (JÖNSSON; WOHLIN, 2004).

**missForest:** Stekhoven e Buhlmann (2012) propuseram um método de imputação não-paramétrica baseada no algoritmo randomForest (BREIMAN, 2001), um algoritmo que tem sua operação na construção de árvores de decisão e tem como saída (no modo de regressão) a média da predição realizada pelas árvores.

**MICE:** De forma análoga aos métodos de imputação simples, existem também diversos métodos de múltipla imputação – responsáveis por gerar múltiplos conjuntos de dados completos a serem analisados individualmente e que posteriormente são consolidados em resultados único pelos cálculos de média, variância e intervalo de confiança pertinentes –, embora o mais presente na literatura seja o MICE. Sua principal vantagem reside no fato de que múltiplas imputações, diferentes das imputações únicas, levam em conta as incertezas estatísticas (AZUR et al., 2011).

No método MICE, os dados faltantes são inicialmente substituídos por valores temporários, normalmente pela média das observações. Posteriormente, são realizadas regressões múltiplas no modelo, atualizando os valores iniciais e temporários pelos novos valores estimados. O ciclo é repetido por um número especificado pelo operador, e ao final, os resultados finais são retidos como um conjunto de dados completos. O operador volta a repetir os ciclos até que um número considerado suficiente de conjuntos de dados seja obtido (AZUR et al., 2011).

A escolha do método de imputação a ser utilizado neste trabalho deve levar em conta também a característica não-paramétrica do algoritmo utilizado.

Dentre os três métodos considerados modernos discutidos, apesar dos bons resultados apresentados pelo MICE, decidiu-se por não o utilizar pela falta de literatura até o momento sobre consolidação de resultado único para o algoritmo PLS-PM quando submetido à várias imputações.

A decisão pelo método missForest preza, além dos bons resultados presentes na literatura, pela constante evolução e modificações sendo propostas ao algoritmo randomForest.

Waljee et al. (2013) comprovaram a eficácia do método missForest em comparação com os métodos KNN, MICE e *Mean Value Imputation* em testes realizados utilizando bancos de dados da área médica e dados faltando completamente ao acaso.

Em uma comparação relacionado a dados da área ecológica Penone et al. (2014) também citam as vantagens do método missForest, salientando que o método k-NN necessita de conhecimento prévio dos parâmetros de ajustes (número de dados próximos a serem contabilizados) e que o método MICE pode apresentar problemas quando as variáveis são muito correlacionadas.

### 3.5.1 missForest

O método missForest proposto por Stekhoven e Buhlmann (2012) faz uso de árvores de decisões na imputação dos dados faltantes por meio do algoritmo randomForest voltado para regressão.

O algoritmo randomForest pertence à classe de aprendizagem conhecida como “*ensemble learning*”, voltada métodos que geram um conjunto de classificadores e posteriormente agregam seus resultados. No caso do algoritmo em questão, um número pré-definido de amostras é retirada do conjunto original (*bootstrapping*) e aplicado a árvores de decisões de regressão ou classificação (BREIMAN, 2001; LIAW; WIENER, 2002).

Os resultados das árvores de decisões criadas são então escolhidos por votação (para classificação) ou pela média dos resultados (regressão).

Para ao algoritmo missForest os seguintes passos são adotados:

- 1) Inicialmente os valores faltantes são estimados por meio de um método tradicional, por exemplo, *Mean Value Imputation*;
- 2) São calculados o número de observações faltantes em cada indicador. O número de observações faltantes é alocado em um vetor por ordem crescente de indicador incompleto;
- 3) Para cada um dos indicadores, começando pelo com menos observações faltantes, são criadas árvores de decisões que regridem nos valores de uma matriz de imputação temporária;

- 4) A matriz de imputação temporária é atualizada e volta-se ao passo 3 a menos que o critério de parada do algoritmo seja satisfeito.

O critério de parada do algoritmo é dado pela equação (133) e calculada a cada interação – comparando o conjunto de dados imputado atual ( $X_{novo}^{imp}$ ) com o conjunto de dados imputados resultante da interação anterior ( $X_{anterior}^{imp}$ ) –, e indica que as iterações devem ser finalizados quando seu valor passa a incrementar ao invés de decrementar.

$$\gamma = \frac{\sum_{n=1}^N (X_{novo}^{imp} - X_{anterior}^{imp})^2}{\sum_{n=1}^N (X_{novo}^{imp})^2} \quad (133)$$

Para melhor compreensão do missForst, torna-se importante discorrer sobre o funcionamento das árvores de decisões quando utilizadas em contextos de regressão. A ideia geral das árvores de decisões consiste em particionar os dados em pequenos segmentos, conhecidos como nós, que por sua vez são particionados em outros nós, até que um nó com os atributos desejado seja alcançado (BREIMAN et al., 1984).

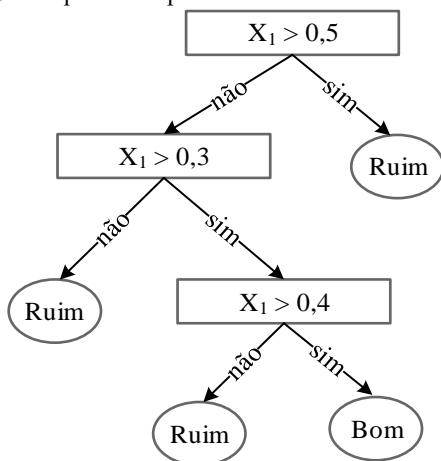
Sendo o conjunto de dados numérico, como no caso desta tese, os possíveis pontos de segmentação são todos os números entre o máximo e o mínimo da variável de interesse.

Efetuada as segmentações, é necessário buscar pelo nó que melhor minimiza a soma quadrada dos erros (SSE) dos seus subnodos (segmentados à direita e à esquerda), conforme (134). O erro total é definido como a média ponderada dos erros dos subnodos. Dessa forma, obtêm-se árvores de regressão de mínimos quadrados.

$$erro = \frac{n_{i\_esquerda}}{N} (y_{i\_esquerda} - \bar{y}_{i\_esquerda})^2 + \frac{n_{i\_direita}}{N} (y_{i\_direita} - \bar{y}_{i\_esquerda})^2 \quad (134)$$

A Figura 29 ilustra o esquema simplificado de uma árvore de decisões. É importante salientar que a profundidade máxima da árvore (quantidade de subnós dentro de subnós) é um dado pré-definido pelo operador.

Figura 29 - Esquema simplificado de uma árvore de decisões.



Fonte: o autor.

Por fim, ao serem definidos os melhores nodos de todas as árvores de decisão criadas, suas médias são utilizadas imputação por meio do algoritmo missForest.

### 3.6 COMPOSIÇÃO FERRAMENTAL (CONSIDERAÇÕES PARCIAIS)

Diante dos métodos apresentados neste capítulo, resume-se a composição ferramental do trabalho da seguinte forma:

- 1) Emprego do algoritmo missForest para tratar dados faltantes;
- 2) Uso da Análise de Frequência para compreensão geral dos resultados e entendimento da evolução das respostas diante das diferentes aplicações;
- 3) Emprego da Análise de Componentes Principais, utilizando Análise Paralela, para testar a unidimensionalidade dos constructos analisados;
- 4) Modelagem de Equações Estruturais utilizando o algoritmo PLS-PM modificado com regressão *fuzzy* em dois estágios, intitulado TSqQP-PLS-PM, para compreender as relações de causa-efeito entre os conceitos abstratos levando em considerações as incertezas da condição humana;
- 5) Busca da comprovação da globalidade do modelo por meio de algoritmos heurísticos.

## SOBRE OS MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

*A Modelagem de Equações Estruturais busca apresentar a relação entre os indicadores e as dimensões pesquisadas.*

*Não basta modelar, é necessário também validar.*

*A Regressão Possibilística busca acrescentar as incertezas da condição humana ao modelo.*

*Tão importantes quanto tratar os dados presentes, é também tratar os dados faltantes.*

Para auxiliar na proposta mister deste trabalho, de compreender a característica formativa do conhecimento diante da aprendizagem ativa, recorre-se ao estudo de caso da aplicação e desenvolvimento de uma metodologia ativa própria.

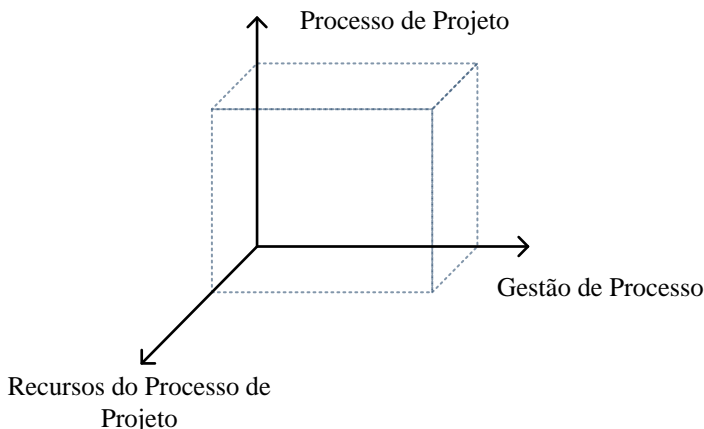
Neste aspecto, esse capítulo tem foco na gestão de projetos, mais especificamente dentro da metodologia *Project-Based Learning*, que como apresentado na revisão, tem se mostrado uma alternativa e/ou complemento válido aos modelos de ensino considerados tradicionais.

Projetos – da palavra latina *projectum*, do verbo *proicere* que significa “antes de uma ação” – são temporários (possuindo um início e um fim definidos), devem ser planejados, executados e controlados, tem como objetivo entregar produtos, serviços ou resultados exclusivos e são, em geral, realizados por pessoas e com recursos limitados (PMBOK, 2013). Segundo Back e Ogliari (2001) eles podem ser divididos em três principais frentes (Figura 30):

- **Processo de Projeto:** consiste na metodologia de desenvolvimento de produto propriamente dita, incluindo prototipagem, normalização, modelamento geométrico, análise da concorrência, etc.
- **Gestão de Processo:** consiste na parte de gerenciamento do projeto, incluindo a parte de riscos, administração do tempo, qualidade, recursos, controle, encerramento, integração, etc.
- **Recursos do Processo de Projeto:** consiste na parte dos periféricos utilizados do projeto, dando enfoque também na parte de tecnologia da informação, sendo incluídas as bases de dados, sistemas de gestão e linguagens computacionais.

Salienta-se que considerados estes três aspectos, este trabalho foca apenas em um: no desenvolvimento da metodologia de gestão de processo. Desse modo, esse capítulo apresenta a metodologia proposta com a evolução do processo inicial e seu embasamento até chegar ao modelo final.

Figura 30 - As três frentes de um projeto.



Fonte: o autor baseado em Ogliari e Back (2001).

#### 4.1 METODOLOGIAS PRECURSORAS

Duas metodologias de *Project-Based Learning* são tomadas como precursoras da apresentada neste trabalho: a de Santana (2009) realizada na UnB e a de Seman (2015) realizada na FURB.

##### 4.1.1 Metodologia de Santana (2009)

A primeira metodologia utilizada como base para este trabalho foi proposta por Santana (2009) seguindo os conceitos do PMBOK (2013), ela desconsidera os aspectos metodológicos da engenharia do produto, entendendo que essa definição é peculiar a cada equipe de trabalho, devendo essa ser adaptada ao longo do estudo.

Dentre as metodologias mais difundidas para a criação de um projeto está o *Project Management Body of Knowledge* também conhecido como PMBOK (2013), um livro que apresenta um conjunto de práticas em gerenciamento de projetos.

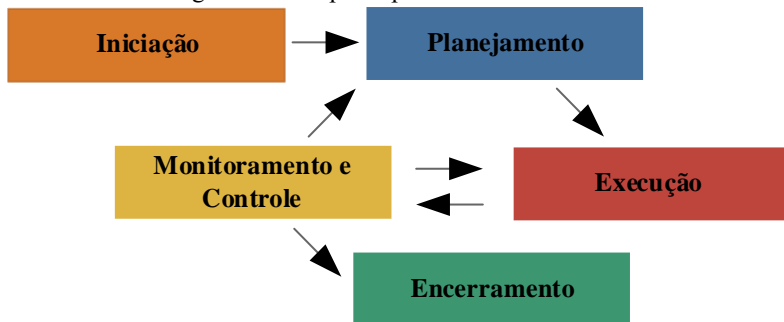
Ele indica que a gerência de um projeto envolve um conjunto de práticas, conhecimentos e ferramentas para que as atividades do projeto encontrem os seus requerimentos. De acordo com Santana (2009) a metodologia apresentada no livro pode ser aplicada de maneira eficaz em uma PBL.

O livro reconhece 47 processos divididos em cinco grupos de processos e 10 áreas de conhecimentos comuns na maioria dos projetos.

Os grupos de processo são definidos como o ciclo de vida de um projeto, eles são interligados, (dependentes entre si, com o objetivo claro de criar um final adequado, como mostra a Figura 31). Os cinco grupos de processos são definidos como:

- **Iniciação:** autorização do projeto;
- **Planejamento:** definição e refinamento dos melhores caminhos para atingir as metas;
- **Execução:** execução dos planos do projeto;
- **Monitoramento e Controle:** monitoramento do desempenho do projeto, regulação do progresso e ações corretivas;
- **Encerramento:** aceitação formal do projeto.

Figura 31 - Grupo de processos do PMBOK.



Fonte: PMBOK (2013).

Já as áreas do conhecimento são definidas por seus requisitos de habilidades e descritas em termos dos processos que as compõe, segundo o PMBOK (2013) as áreas de conhecimento são 10:

- **Integração:** descreve os processos que integram elementos do gerenciamento de projetos, que são identificados, definidos, combinados, unificados e coordenados de forma satisfatória;
- **Escopo:** relaciona os processos envolvidos na verificação de que o projeto inclui todo o trabalho necessário para que seja concluído com sucesso;
- **Tempo:** representa os processos relativos ao término do projeto no prazo correto;
- **Custo:** descreve os processos envolvidos em planejamento, estimativa, orçamentação e controle de custos, de modo que o projeto termine dentro do orçamento aprovado;



- **Qualidade:** relaciona os processos envolvidos na garantia de que o projeto satisfará os objetivos para os quais foi realizado;
- **Recursos Humanos:** representa os processos que organizam e gerenciam a equipe do projeto;
- **Comunicações:** descreve os processos relativos à geração, coleta, disseminação, armazenamento e destinação final das informações do projeto de forma oportuna e adequada;
- **Riscos:** relaciona os processos relativos à realização e análise do gerenciamento de riscos em um projeto;
- **Aquisições:** representa os processos que compram ou adquirem produtos, serviços ou resultados, além dos processos de gerenciamento de contratos;
- **Partes Interessadas** (adicionada na quinta edição do livro): descreve os processos requeridos para identificar as pessoas ou grupo de pessoas que podem ser impactadas pelo projeto.

É importante ressaltar que as condutas definidas pelo PMBOK (2013) são definidas como boa prática, ou seja, não significa que devem necessariamente ser aplicadas sem critérios a todo e qualquer projeto sem considerar sua devida apropriação.

#### 4.1.2 Metodologia de Seman (2015)<sup>70</sup>

A segunda metodologia utilizada como base na construção deste trabalho foi apresentada em Seman (2015), ainda tendo como base o PMBOK (2013), entretanto, uma diferença bastante acentuada entre a instituição alvo da pesquisa e aquela analisada por Santana (2009) – o fato de que a Universidade Regional de Blumenau (FURB) é uma instituição de ensino paga, na qual os estudantes não possuem dedicação exclusiva à academia – fez com que o trabalho precisasse ser adaptado para poder integrar, de maneira satisfatória, pessoas que conciliam jornadas semanais de 40 horas de trabalho com a formação superior.

#### 4.2 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta neste trabalho surgiu como necessidade depois da experiência de um semestre inteiro utilizando a metodologia de

---

<sup>70</sup> Os resultados desta aplicação são considerados e reapresentados no Capítulo 6 pois o entendimento de sua estruturação ajuda a compreender o porquê de uma nova metodologia ser proposta ao invés de sua pura manutenção.

Seman (2015). Esta necessidade está intimamente ligada ao perfil de dedicação não integral ao curso dos estudantes da Universidade Regional de Blumenau onde a aplicação acabou se tornando muito burocrática, causando estranheza diante dos estudantes.

Desse modo, é proposta uma nova metodologia de aplicação de *Project-Based Learning* tendo como base os princípios de desenvolvimento Agile, bastante difundidos nos nichos de desenvolvimento de *software*, mas que também ocupam seu espaço em projetos com outros vieses.

De modo geral o método Agile é um conjunto de princípios de desenvolvimento em que os requerimentos e as soluções evoluem e são mutáveis, promovendo uma aprendizagem adaptativa e um aprimoramento contínuo. Dentro da literatura disponível sobre Agile, um dos fatores mais comumente citados é o manifesto Agile, apresentado no Quadro 24.

Quadro 24 - Manifesto Agile.

<p><b>Indivíduos e interações</b> mais que processos e ferramentas  <b>Software em funcionamento</b> mais que documentação abrangente  <b>Colaboração com o cliente</b> mais que negociação de contratos  <b>Responder a mudanças</b> mais que seguir um plano</p>
--

Fonte: Fowler e Highsmith (2001).

No manifesto, mesmo havendo valor nos itens à direita (os que não estão em negrito), o maior valor é dado aos itens à esquerda (os em negrito). Certos autores já utilizaram o método em conjunto com a PBL, mas não dá forma proposta por este trabalho, conforme apresentado no Quadro 25.

Quadro 25 - Autores que utilizaram Agile em conjunto com PBL.

Autor	Abordagem
Zapater et al., (2013)	No artigo é apresentado uma aplicação do método Agile (por meio do framework Scrum <sup>71</sup> ) em conjunto com a PBL tradicional. Neste projeto os estudantes tiveram que utilizar o método para desenvolver seus projetos. Segundo os autores essa necessidade de seguir todas as etapas Agile acabou por sobrecarregar os estudantes.

<sup>71</sup> Scrum é um tradicional *framework* Agile para gerenciamento de projetos, usualmente relacionados a *software*, mas que pode ser adaptado para outras áreas do conhecimento.

El-Khalil (2013)	Nesta aplicação os autores utilizaram o método em um curso de desenvolvimento de <i>software</i> somado a uma PBL. Novamente a proposta consistiu em os estudantes seguirem o método Agile dentro do projeto.
Monett (2013)	No artigo é citado como o Agile é utilizada com sucesso na indústria de <i>software</i> e de como pode ser adaptada para o ensino de Ciências da Computação sendo incluída em PBLs.
Lembo; Vacca (2012)	Os autores utilizaram a PBL em conjunto com o método Agile no ensino de engenharia de <i>software</i> em um modelo que chamaram de: <i>Extreme Programming based Instructional Design Methodology</i> .

Fonte: o autor.

Os benefícios do método Agile, mesmo quando não ligada a uma PBL também já foram difundidos na literatura, por exemplo em Gannod et al. (2015) que citam os benefícios que podem acarretar do ensino de desenvolvimento de *software* utilizando Agile e Gary et al. (2015) que discorrem do uso do método na educação, e afirmam que em alguns casos vem substituindo o ensino tradicional e mesmo os projetos considerados “comuns” em prol do uso de *frameworks* como Scrum e XP<sup>72</sup> por parte dos estudantes.

Discorridos sobre os benefícios do método Agile aplicados à educação, é importante entender no que a proposta do uso do método se diferencia neste trabalho. Nesta tese, o objetivo não consiste em fazer os estudantes seguirem a metodologia Agile dentro da PBL, o objetivo é utilizar os princípios de seu manifesto para a criação da PBL, desta forma, apenas os professores têm contato com ela, tornando-a transparente aos estudantes.

Ou seja, pode-se se fazer uma analogia<sup>73</sup> em que os estudantes são considerados os “clientes”, dos quais os professores “desenvolvedores” do projeto recebem um constante *feedforward*, e vão adaptando em

<sup>72</sup> XP ou EXtreme Programming também é uma metodologia Agile restrita para o desenvolvimento de *software*, nela algumas regras quanto ao tipo de desenvolvimento são definidas, como programação em pares, testes, entre outros.

<sup>73</sup> A consideração do estudante como um “cliente” é apenas para fins de analogia, deixa-se claro que para critérios deste trabalho o estudante deve ser entendido como um produto da instituição de ensino, e não como um cliente da mesma. Um engenheiro que vai para o mercado despreparado não é um cliente insatisfeito, é um produto mal

tempo real o “produto” de forma a maximizar a aprendizagem dos participantes.

Embora o conceito de *feedback* se encontre bastante consolidado, considerado essencial em projetos por todo o mundo, ele vem sendo deixado de lado<sup>74</sup> em prol do conceito de *feedforward* (GOLDSMITH, 2003; KLUGER; NIR, 2006). De forma geral é possível considerar que o *feedback* se relaciona a situações passadas, enquanto o *feedforward* relaciona-se a situações presentes e futuras:

- **Feedback:** é usualmente focado no passado, em situações que já ocorreram, e que são agora imutáveis. Portanto, não permite que os estudantes utilizem as sugestões recebidas em tempo real;
- **Feedforward:** é focado em situações presentes e futuras, focando no aperfeiçoamento de competências. Desta forma, pode-se ao longo do projeto fazer sugestões aos estudantes de modo que eles consigam aprimorar seus desenvolvimentos durante o percurso.

Entretanto, é importante salientar que o papel dos estudantes como clientes não é maximizar a sua satisfação facilitando o projeto ou tornando-o mais simples. O objetivo é entregar a eles o melhor produto possível, ou seja, a melhor relação de ensino-aprendizagem.

#### 4.2.1 Project-Based Learning Agile

O manifesto original foi elaborado para o desenvolvimento Agile de *software*, sua adaptação é necessária para o seu uso dentro das filosofias epistemológicas do projeto, em uma metodologia denominada de *Project-Based Learning Agile*, conforme apresentado no Quadro 26.

Quadro 26 - Manifesto Agile adaptado para *Project-Based Learning Agile*.

<p><b>Indivíduos e interações</b> mais que processos e ferramentas  <b>Simulação em funcionamento</b> mais que documentação abrangente  <b>Colaboração com o estudante</b> mais que negociação de prazos  <b>Responder a mudanças</b> mais que seguir um plano</p>
--

Fonte: o autor com base em Fowler e Highsmith (2001).

---

funcional com a marca da instituição em questão. Deste modo, uma formação incompleta prejudica não só o estudante, prejudica também a universidade, e toda a educação superior brasileira.

<sup>74</sup> Apesar da substituição dos termos, pode-se considerar que os dois conceitos são complementares.

Os preceitos do manifesto Agile são importantes para dar ao projeto um teor de flexibilidade, um projeto que pode se ajustar rapidamente durante o caminho para responder possíveis dificuldades que surjam no decorrer do andamento das disciplinas que englobem o projeto. Cada um deles é discutido a parte:

a) **Indivíduos e interações** mais que processos e ferramentas

Ao se permitir que cada pessoa contribuía com seu valores e experiências únicas a um projeto, o resultado pode ser interessante. Quando essas interações humanas focam em resolver problemas um propósito único pode emergir (LAYTON, 2012).

Em um projeto de âmbito educacional, a importância de dar enfoque aos estudantes (indivíduos) acima de processos se torna essencial no enfoque interestruturado em que eles são o ponto central do processo de ensino-aprendizagem.

O Quadro 27 e o Quadro 28 apresentam respectivamente as vantagens e as desvantagens sobre dar mais valor ao indivíduos e interações ou aos processos e ferramentas.

Quadro 27 - Indivíduos e interações contra ferramentas e processos: os prós.

<b>Indivíduos e interações têm valores mais altos</b>	<b>Ferramentas e processos tem valores mais altos</b>
<p>A comunicação é clara e efetiva.  A cooperação se torna forte devido as pessoas trabalhando juntas.  As equipes podem se auto organizar.  As equipes têm mais chances de inovar.  Os times podem customizar o processo conforme necessários.  Os integrantes da equipe podem ficar mais satisfeitos com o projeto.</p>	<p>Processos são claros e podem ser seguidos com facilidades.  Normalmente existe documentação prévia de comunicações anteriores.</p>

Fonte: adaptado de Layton (2012).

Quadro 28 - Indivíduos e interações contra ferramentas e processos: os contras.

<b>Indivíduos e interações tem valores mais altos</b>	<b>Ferramentas e processos tem valores mais altos</b>
<p>Os integrantes da equipe precisam ter a capacidade de se envolver, ter responsabilidade, e serem inovadores.</p> <p>As pessoas precisam deixar o orgulho de lado para trabalhar bem como um time autossuficiente.</p>	<p>As pessoas podem ficar muito dependentes do processo ao invés de procurar boas soluções para o projeto.</p> <p>Um mesmo processo pode não ser o ideal para todas as equipes, pessoas diferentes tem diferentes estilos de trabalho.</p> <p>A comunicação pode se tornar ambígua.</p>

Fonte: adaptado de Layton (2012).

b) **Simulação em funcionamento** mais que documentação abrangente

A equipe envolvida no processo deve focar em desenvolver uma simulação funcional do projeto. Em projetos desenvolvidos sob a métrica Agile, a maneira usual de mensurar se um requerimento do projeto foi realmente cumprido é desenvolver uma funcionalidade do produto associada com aquele requerimento, ou, no caso alterado para a PBL Agile, desenvolver a parte da simulação responsável pelo requerimento em questão.

É comum que projetos necessitem de algum tipo de documentação, contudo, em projetos Agile, a documentação só é útil se for apenas o suficiente para servir ao projeto desenvolvido da maneira mais direta e desburocratizada possível (LAYTON, 2012).

Esse segundo requerimento modificado do Manifesto *Agile* foca em fazer com que os estudantes consigam realmente cumprir os requerimentos do trabalho, passando mais tempo no aprendizado do trabalho em si do que desenvolvendo uma documentação demasiadamente estruturada.

c) **Colaboração com o estudante** mais que negociação de prazos

No manifesto original, onde se discorre sobre colaboração com o cliente, o procedimento se concentra em uma entrega iterativa. Nesta versão modificada, os esforços são direcionados para uma avaliação continuada dos estudantes, criando pontos de controle a fim de monitorar o processo e mantê-los motivados.

---

Este é um aspecto que permite considerar o *feedforward* dos estudantes durante o projeto. Em Agile é entendível que a colaboração mais do que o confronto produzem resultados melhores e mais úteis (LAYTON, 2012).

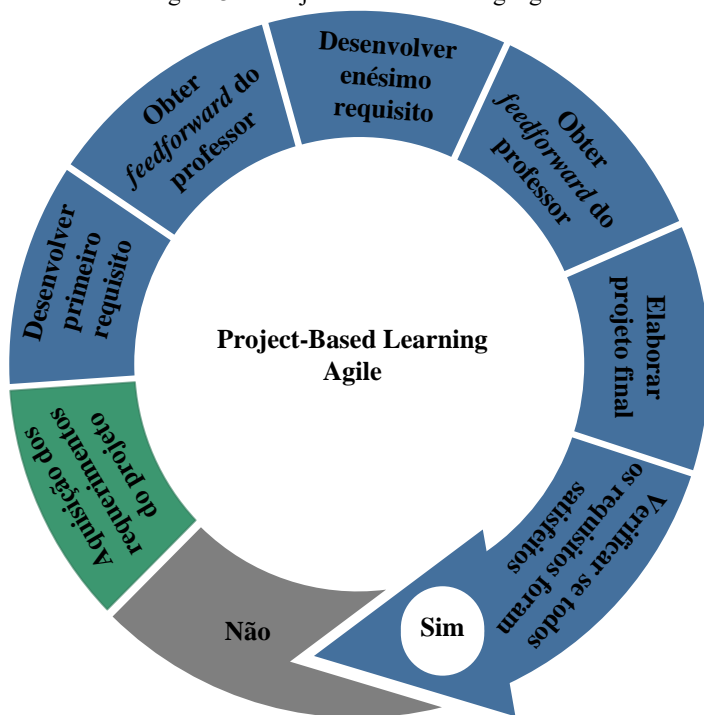
d) **Responder a mudanças** mais que seguir um plano

Sendo a capacidade de adaptação e modificação uma das ferramentas mais uteis para criar grandes produtos, a mesma inferência pode ser considerada para criar bons projetos de ensino, em que os professores respondem rapidamente as dificuldades dos estudantes.

A *Project-Based Learning Agile* acomoda as mudanças a fim de estar em constante evolução, priorizando o aprendizado do estudante. É importante salientar, essa constante absorção das mudanças visa maximizar a aprendizagem do estudante, e não necessariamente a fazer com que ele tenha menos trabalho.

O ciclo da *Project-Based Learning Agile* envolve a constante interação entre professores e estudantes, mas sem diminuir a autonomia dos grupos. Esse tipo de contato é particularmente interessante em instituições onde os estudantes não possuem dedicação integral ao curso, para manter a sua motivação no projeto. Esse ciclo é apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Project-Based Learning Agile.



Fonte: o autor.

#### 4.2.1.1 Valores do Projeto

Como visto no mirante teórico deste trabalho, embora não exista teoria unificada do comportamento de uma *Project-Based Learning*, a importância de agregar valores às características do projeto é fator recorrente na literatura. Deste modo, define-se a PBL aqui presente como composta por 6 valores, conforme apresentado na Figura 33.



Figura 33 - Os seis valores necessários à PBL.



Fonte: o autor com base no acumulado da revisão da literatura.

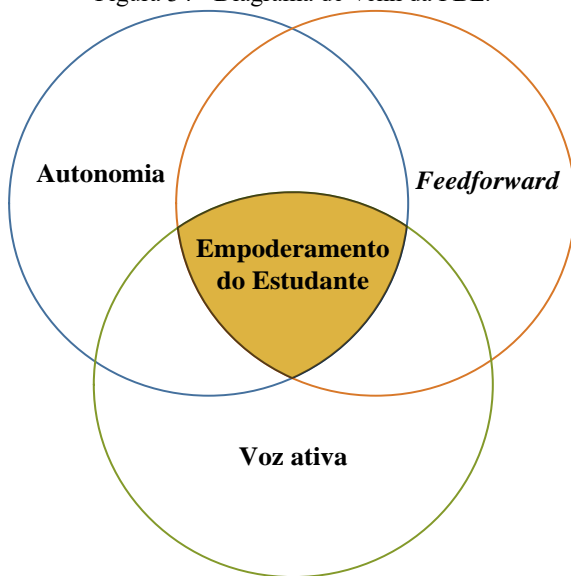
- **Autonomia:** a autonomia é importante para permitir e até mesmo desenvolver a capacidade dos estudantes de buscarem soluções por si mesmos, sem seguir passo-a-passos ou tutoriais de como realizar o projeto;
- **Competências transversais:** as competências transversais ou competências do século 21 são responsáveis por preparar os estudantes não só para o mercado de trabalho, mas também trabalhando valores intrínsecos à vida em sociedade;
- **Cooperação:** ponto crucial do projeto, a cooperação torna-se de singular importância por trazer um ambiente de troca de conhecimentos e experiências, em que os estudantes devem caminhar juntos na busca por um mesmo objetivo;
- **Feedforward:** como discutido anteriormente, no projeto é considerado o *feedforward*, que foca nas situações atuais de futuras, de modo a desenvolver as competências de aperfeiçoar os conhecimentos dos estudantes;
- **Relevância:** o projeto deve ser relevante, ou seja, deve conter tecnologias atuais, problematizações pertinentes ao mercado de trabalho atual do ramo do curso, preferencialmente até mesmo conter fatores relacionados a cidadania;

- **Voz Ativa:** a voz ativa não significa que o estudante deva ditar as regras do projeto, mas sim que suas opiniões devam ser ouvidas, acarretando em uma flexibilidade a fim de maximizar a aprendizagem.

Dentre esses fatores destaca-se a autonomia, palavra chave em se tratando de PBL. Contudo, autonomia por autonomia não é a solução, é necessário um *feedforward* constante para que o estudante não se sinta desamparado. Além disso, é adicionada a importância da voz ativa do estudante no projeto, neste ponto entram os parâmetros relacionados a flexibilidade da metodologia, a revisão do projeto perante dificuldades que apareçam durante o projeto.

Considerando a autonomia, juntamente com o *feedforward* constante, e a voz ativa dos estudantes, é possível considerar o empoderamento dos estudantes diante de sua própria aprendizagem, conforme apresentado na Figura 34.

Figura 34 - Diagrama de Venn da PBL.



Fonte: o autor.

#### 4.2.1.2 Etapas do projeto

Para a realização desses passos, o projeto é dividido em três etapas: pré-projeto, projeto e pós-projeto.

#### 4.2.1.2.1 Pré-Projeto

O pré-projeto é realizado em um momento antecedente ao semestre letivo da aplicação da atividade e consiste na elaboração do plano de ação. Nele os professores decidem as metas que serão perseguidas durante o semestre, definindo também os requerimentos que serão pedidos aos estudantes. As metas dizem respeito apenas às competências que se deseja desenvolver, pois não se atribuem objetivos lineares ao projeto, que deve ser adaptativo.

#### 4.2.1.2.2 Projeto

A segunda etapa consiste no projeto propriamente dito, realizado ao longo de todo um semestre letivo, e conta com a participação de professores e estudantes. Ele é dividido em três fases:

**1) Fase 1 – Apresentação:** Fase inicial do projeto, em que são iniciadas as atividades básicas relacionadas à adoção da metodologia: apresentação do projeto aos estudantes, formação das equipes, discriminação do tema, estabelecimento dos prazos.

Essa explicação deve ser feita dentro de uma metodologia conhecida como 5W1H, que de acordo com Oliveira (1996) e Santana (2009) é útil para tornar a mensagem a ser passada bastante clara. Nomenclatura derivada das expressões originais em inglês: *What* (O que); *Why* (Por que); *Where* (Onde); *When* (Quando); *Who* (Quem) e *How* (Como). Espera-se durante a apresentação do projeto que os professores esclareçam os seguintes pontos:

- ***What* (O que):** O que será realizado? Qual objetivo se pretende alcançar?;
- ***Who* (Quem):** Quem participará do projeto? Quais as disciplinas envolvidas?;
- ***Why* (Por que):** Temática do problema a ser executado e o porquê de sua execução;
- ***Where* (Onde):** Espaços que serão utilizados, tanto físicos como virtuais;
- ***When* (Quando):** Datas específicas do projeto.

Essas informações não precisam necessariamente ser transmitidas todas de uma vez, o professor pode esperar até os estudantes se adap-

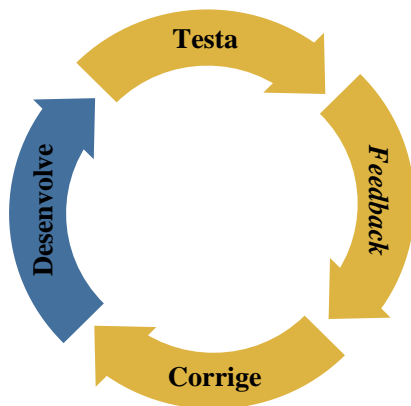
tarem a ideia (principalmente se as disciplinas envolvidas ainda não tiverem o histórico de adotar a metodologia). Contudo, é sugerido que até o final da segunda semana de aula todas essas informações já tenham sido discutidas em sala.

**2) Fase 2 – Loop de Desenvolvimento:** Fase de desenvolvimento do projeto, onde os estudantes desenvolvem o seu projeto, a fim de cumprir os requisitos definidos durante a fase de apresentação.

Durante essa etapa cabe aos integrantes das equipes estarem em constante contato com os professores conforme acharem necessário para ter um *feedforward* constante sobre o cumprimento dos requerimentos, conforme apresentado na Figura 35.

Nesta etapa os professores devem estar abertos a mudanças e a correções no percurso, de forma a maximizar a aprendizagem dos estudantes, é nesta segunda fase que devem ser seguidos dois dos preceitos do manifesto: colaboração com o estudante mais que negociação de prazos e responder a mudanças mais que seguir um plano.

Figura 35 - Fase 2: *Loop* de desenvolvimento.



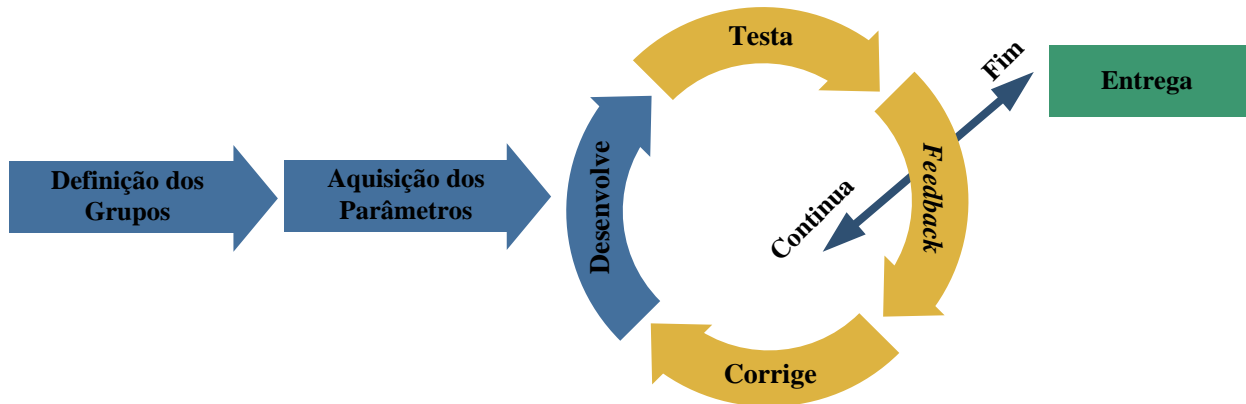
Fonte: o autor.

**3) Fase 3 – Finalização:** Fase final em que as equipes finalizam todas as atividades do projeto, dando ele como terminado. Nesta parte é realizada a entrega do relatório final da equipe contendo os dados do projeto. Lembrando que este relatório deve seguir o manifesto, logo: simulação em funcionamento mais que documentação abrangente.

De posse do relatório final é realizada a avaliação do projeto, que fica por conta da avaliação total do grupo, e também da avaliação individual dos estudantes por meio de arguição, cabendo aos professores avaliar os estudantes pelos parâmetros definidos de comum acordo no pré-projeto.

Espera-se que percorrendo as três fases, o projeto possa ser visto de forma clara e objetiva pelos estudantes. A clareza se faz importante para que os esforços dos estudantes sejam focados no desenvolvimento do projeto, e não no entendimento da metodologia, colaborando com o manifesto: indivíduos e interações mais que processos e ferramentas. O ciclo de vida completo do projeto é apresentado na Figura 36.

Figura 36 - Ciclo de vida do projeto.



Fonte: o autor.

#### 4.2.1.2.3 Pós-Projeto

A etapa final da aplicação consiste no estudo dos dados recolhidos durante a experiência e no fechamento das menções. É feita uma análise da repercussão do projeto e o arquivamento dos documentos coletados.

O fechamento inclui a participação dos professores em uma reunião com o intuito de dividir as percepções individuais que tiveram no decorrer da proposta, bem como acrescentarem suas sugestões de melhorias à metodologia para que ela evolua na construção do projeto do semestre seguinte.

### 4.3 QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO PROCESSO

O questionário de avaliação do processo da *Project-Based Learning Agile* aqui utilizado foi apresentado pela primeira vez em Seman (2015) e tem como objetivo perceber a relação dos estudantes com o método de ensino aplicado, buscando aferir como o projeto os afetou. Em sua primeira aparição na literatura ele foi testado somente uma vez durante um semestre letivo, e embora sua validação tenha sido considerada adequada para uma ferramenta de caráter exploratório, a continuidade de seu uso se torna interessante para testar ainda mais a qualidade da ferramenta.

Na elaboração do questionário foi utilizada a escala Likert, que segundo Günther (2003) é a escala mais utilizada nas ciências sociais, especialmente em levantamento de atitudes, opiniões e avaliações.

Nela pede-se ao respondente que avalie um fenômeno numa escala de, geralmente, cinco alternativas: aplica-se totalmente, aplica-se, nem sim nem não, não se aplica, definitivamente não se aplica. As afirmações podem ser autorreferentes: “Eu considero importante ter uma área de lazer perto de casa”. Ou hétero-referentes: “É importante para uma comunidade ter uma área de lazer” (GÜNTHER, 2003).

O intuito desta ferramenta é avaliar o grau de satisfação do estudante com a metodologia proposta neste trabalho, bem como sua evolução cognitiva e o desenvolvimento de competências transversais. Além disto,

a elaboração do questionário visa testar as hipóteses apresentadas no mirante teórico deste trabalho:

- **Hipótese A1:** A Humanização é um fator comum da Autoestima;
- **Hipótese A2:** A Humanização é um fator comum da Autorrealização;
- **Hipótese A3:** A Humanização é um fator comum da Cooperação;
- **Hipótese B:** A Humanização influi positivamente na PBL;
- **Hipótese C:** A PBL influi positivamente no Aprendizado;

Como forma de operacionalizar a ferramenta para testar as hipóteses apresentadas, foram consideradas cinco dimensões extraídas da literatura:

- PBL
- Aprendizado
- Cooperação
- Autoestima
- Autorrealização

O primeiro agrupamento intitulado PBL busca compreender a relação do processo com os estudantes e tem como base o trabalho de Santana (2009)<sup>75</sup>, adotando como alternativas uma escala Likert de 5 pontos, variando de 1 – “Discordo completamente” a 5 – “Concordo completamente”, conforme apresentado no Quadro 29.

Quadro 29 - Dimensão: PBL.

<b>Indicador</b>	<b>Indicador</b>
P1	Gostaria de repetir esta experiência em outras disciplinas.
P2	Considerarei a relação interdisciplinar positiva para meu aprendizado.
P3	O prazo para a realização do projeto foi satisfatório.
P4	No final do projeto, cumpri os objetivos que eu almejava.
P5	Não me senti sobrecarregado com a realização da PBL durante o semestre.

Fonte: Seman (2015).

Como apresentado em Seman (2015), os indicadores elaborados para a composição deste agrupamento tiveram as seguintes motivações:

<sup>75</sup> Tese de doutorado em Engenharia Elétrica pioneira no Brasil relativa à implementação e avaliação da PBL



- **P1:** Mensurar o fator de repetição da experiência para ser adotada em outras disciplinas e em outros momentos;
- **P2:** Fator que leva em conta a característica não interdisciplinar do currículo de Engenharia Elétrica da Universidade Regional de Blumenau (com exceção do trabalho de conclusão de curso), busca mensurar a aceitação do contato com a interdisciplinaridade;
- **P3:** Mensurar a relação dos estudantes com o prazo hábil para a realização do projeto;
- **P4:** Mensurar o grau de satisfação do estudante diante das metas que almejava;
- **P5:** Mensurar a possível sobrecarga ocorrida diante da realização do projeto, motivada principalmente pelo fato de grande parte dos estudantes conciliarem jornadas diárias de trabalho com um curso noturno de graduação.

O segundo fator agrupamento, de prefixo “Avalie como a PBL impactou...” busca mensurar o impacto da PBL no estudante, principalmente diante de competências técnicas gerais e da evolução nas disciplinas contidas no processo.

Para compor as perguntas relacionados ao agrupamento levou-se em conta autores que retrataram uma relação positiva entre o conhecimento e a PBL aplicada à Engenharia Elétrica (BRACKENBURY; PLANA; PEPPER, 2010; CHU; LU; SATHIAKUMAR, 2008; HOSSEINZADEH; HESAMZADEH, 2012; KUMAR; FERNANDO; PANICKER, 2013).

Esse agrupamento faz uso da escala Likert variando de 1 – “Não satisfatório” até 5 – “Muito satisfatório”, tendo todos os seus indicadores com seu enunciado começando com “Avalie como a PBL impactou...” e apresentados no Quadro 30.

Quadro 30 - Dimensão: Aprendizado.

<b>Indicador</b>	<b>Indicador</b>
C1	...na sua capacidade de resolver problemas de eletrônica de potência.
C2	...na sua capacidade de resolver problemas de controle.
C3	...na sua capacidade de tomar decisões de engenharia.
C4	...na sua capacidade de buscar informações por si mesmo.
C5	...na sua capacidade em resolver problemas apresentados em sala de aula.

Fonte: Seman (2015).

Para a criação destes itens levou-se em conta a busca pela aprendizagem significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) e o desenvolvimento do processo cognitivo e de tomada de decisões. Cada um desses indicadores teve a seguinte motivação em sua constituição:

- **C1:** Mensurar a evolução do estudante na disciplina de Eletrônica de Potência para verificar a significância do aprendizado (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980);
- **C2:** Mensurar a evolução do estudante na disciplina de Controle e Servomecanismos para mensurar a significância do aprendizado (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980);
- **C3:** Fator que busca considerar a evolução do estudante em tomar decisões relacionadas aos aspectos da engenharia, na gestão do projeto desenvolvido por sua equipe, no desenvolvimento de um produto (KUMAR; FERNANDO; PANICKER, 2013; SANTANA, 2009);
- **C4:** Mensurar a evolução da autonomia do estudante na busca por informações, ao desenvolver partes do seu projeto por vezes não contempladas na ementa das disciplinas envolvidas (LARMER; MERGENDOLLER, 2015; SANTANA, 2009; THOMAS, 2000);
- **C5:** Busca compreender se a aprendizagem ativa, implementada pela PBL, impactou o estudante na sua capacidade de resolver problemas tradicionais em sala de aula, de aspecto tradicional (LARMER; MERGENDOLLER, 2015).

Para acompanhar o desenvolvimento dos estudantes em suas competências intrapessoais e interpessoais, pautado nas competências requeridas para o século 21, foi utilizado como base o já validado Questionário de Competências Intrapessoais, Interpessoais e Profissionais (QCIP) de Jardim e Pereira (2005). Fazendo uso da escala Likert de 5 pontos, variando de 1 – “Discordo completamente” a 5 – “Concordo completamente”, o QCIP utiliza uma divisão de seis competências em sua avaliação (JARDIM, 2007):

1. Cooperação
2. Autorrealização
3. Autoestima
4. Suporte social
5. Assertividade
6. Empatia

---

Segundo Jardim (2007) a motivação da criação do QCIIP tem o seguinte como base:

[...] foi por nós construído o Questionário de Competências Intrapessoais, Interpessoais e Profissionais (QCIIP), com o objectivo de avaliar as competências necessárias para obter sucesso no ensino superior. Verificada a adequabilidade deste instrumento (com o pré-teste e o método da reflexão falada), aplicámos o QCIIP a uma amostra de estudantes, representativa das instituições do ensino superior (N=2030). Do estudo psicométrico do instrumento e da análise estatística dos dados recolhidos, pudemos inferir que o QCIIP revelou validade e fidelidade significativas, sendo adequado para os objectivos delimitados. Identificámos seis dimensões pertinentes e fundamentais para a intervenção promotora do sucesso académico, que se consubstanciam nas seguintes competências: cooperação, auto-realização, auto-estima, suporte social, assertividade e empatia (JARDIM, 2007, resumo).

Dentre dos aspectos da humanização da engenharia levantados neste trabalho, e aquelas capacidades que se espera prioritariamente desenvolver com a aplicação da PBL, três competências retiradas do QCIIP se enquadram nas hipóteses levantadas e foram incluídas no questionário, tendo suas questões devidamente adaptadas para os agrupamentos característicos: cooperação, autorrealização e autoestima.

Os próximos agrupamentos são versões reduzidas dos originais apresentadas e validadas por Jardim (2007), agrupadas de modo a deixar o questionário mais dinâmico e menos cansativo ao estudante.

Tendo a metodologia aplicada a intenção de se assemelhar, mantidas as devidas proporções, a um projeto real, a capacidade de trabalhar em equipe é um aspecto essencial. Dito isso, foi criado um agrupamento de prefixo “Ao participar do grupo...”, derivado dos medidores de Cooperação do QCIIP, que possui seus indicadores listados no Quadro 31. São questões ligadas à interdependência positiva, habilidades sociais e processamento de grupo (JARDIM, 2007).

Quadro 31 - Dimensão: Cooperação.

Indicador	Indicador
G1	...acho que a cooperação ajudou a desenvolver novas ideias.
G2	...costumo reconhecer as competências de meus colegas.
G3	...senti que todos colaboraram na procura por soluções.
G4	...aprecio a união que se cria entre as pessoas.
G5	...aumento a estima pelos companheiros.

Fonte: Seman (2015).

Na elaboração desta dimensão, foram utilizados os preceitos da Zona de Desenvolvimento Proximal de Vygotski (1994) que citam a colaboração como parte essencial do processo educacional, e também as competência do século 21 que indicam a importância do trabalho em equipe (PELLEGRINO; HILTON, 2012). Cada um dos indicadores apresentadores é motivado conforme apresentado:

- **G1:** Busca mensurar a ideia central da cooperação no auxílio do desenvolvimento cognitivo (VYGOTSKI, 1994);
- **G2:** Fator que busca mensurar o valor que os estudantes dão às competências apresentadas pelos pares (VYGOTSKI, 1994);
- **G3:** Mensurar se o estudante acredita que seus pares também buscam por soluções e estão colaborando com o crescimento do projeto (PELLEGRINO; HILTON, 2012);
- **G4:** Busca mensurar a satisfação do estudante com o ambiente social derivado da criação e manutenção do grupo (MASLOW, 1968);
- **G5:** Mensurar se existe desenvolvimento de laços durante a manutenção do grupo (MASLOW, 1968; PELLEGRINO; HILTON, 2012).

Os indicadores do agrupamento derivado dos medidores de Au-  
toestima do QCIIP tem no início de seu enunciado “No geral...” e são representados no Quadro 32. Neste agrupamento busca-se compreender o equilíbrio do estudante ao lidar com as dificuldades do projeto e se ele se sente confiante de suas próprias habilidades. São indicadores ligados à apreciação das próprias competências e perspectivas de futuro (JARDIM, 2007).

Quadro 32 - Dimensão: Autoestima.

<b>Indicador</b>	<b>Indicador</b>
E1	...me senti confortável quando tive de enfrentar situações não previstas.
E2	...consegui minimizar os efeitos negativos das adversidades.
E3	...me mantive equilibrado mesmo diante das situações estressantes.
E4	...tenho consciência das minhas capacidades intelectuais.
E5	...julgo ter capacidades para ser bem sucedido.

Fonte: Seman (2015).

Para a construção destes itens levou-se em conta fatores relacionados à lidar com dificuldades (MORIN, 2001; TORO, 1988) e a relação do estudantes com suas habilidades (NEISSER et al., 1996). Os itens apresentados têm em sua motivação a seguinte constituição:

- **E1:** Mensurar o desconforto do estudante ao lidar com imprevistos, fator importante a ser desenvolvido no mercado de trabalho (PELLEGRINO; HILTON, 2012);
- **E2:** Averiguar se o estudante consegue lidar com as adversidades, fator importante para o convívio em sociedade (MORIN, 2001; TORO, 1988);
- **E3:** Busca averiguar se o estudante consegue lidar com situações estressantes, fator fundamental no seu desenvolvimento como cidadão (MORIN, 2003; TORO, 1988);
- **E4:** Averiguar se o estudante tem consciência da sua própria capacidade cognitiva, estando bem resolvido diante da sua melhor forma de absorver o conhecimento (GARDNER, 2006; STERNBERG, 1984);
- **E5:** Busca averiguar se o estudante acredita nas suas próprias habilidades e competências (KAHNEMAN, 2012; PELLEGRINO; HILTON, 2012).

Por fim, os indicadores do agrupamento derivado dos medidores de Autorrealização do QCIIP iniciam-se com “Portanto...” e estão apresentados no Quadro 33. Neste agrupamento tenta-se entender a relação do estudante com a sua força de vontade, se ele acredita que suas habilidades estão evoluindo e também se ele acredita que esse aspecto é auxiliado pelos professores. São indicadores ligados à tendência humana de expan-

são e desenvolver as potencialidades pessoais, sociais e profissionais, assim, busca-se medir o processo de crescimento e a experiência de bem-estar do estudante (JARDIM, 2007).

Quadro 33 – Dimensão: Autorrealização.

Indicador	Indicador
R1	...tenho força de vontade para realizar aquilo a que me proponho.
R2	...envolvi todas as minhas capacidades no trabalho que foi feito.
R3	...me sinto realizado como estudante.
R4	...sinto que os professores contribuíram para o meu desenvolvimento.
R5	...sinto que a cada ano desenvolvo mais minhas habilidades.

Fonte: Seman (2015).

Na construção destes itens levou-se em conta a teoria da autodeterminação de Deci e Ryan (1985). Para os itens apresentados, as seguintes motivações foram consideradas:

- **R1:** Busca mensurar a força de vontade do estudante para realizar as atividades a que se propõe (DECI; RYAN, 1985);
- **R2:** Mensurar se o estudante acredita que durante o desenvolvimento do trabalho fez tudo que estava ao seu alcance para chegar no melhor resultado possível (DECI; RYAN, 1985);
- **R3:** Busca mensurar a realização do indivíduo diante do seu papel de estudante (MASLOW, 1968);
- **R4:** Busca verificar a crença do estudante de que os professores exercem um papel importante na sua relação de aprendizagem (NÓVOA, 2009);
- **R5:** Busca mensurar a crença do estudante no desenvolvimento de suas habilidades e competências (SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008).

O Quadro 34 apresenta a listagem geral dos autores que inspiraram cada um dos agrupamentos.

Quadro 34 - Autores por dimensão.

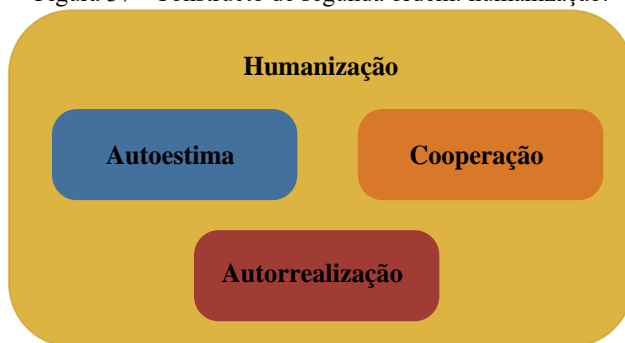
<b>Agrupamento</b>	<b>Autores</b>
PBL	Santana (2009)
Aprendizado	Ausubel; Novak; Hanesian (1980); Kumar; Fernando; Panicker, (2013); Larmer; Mergendoller (2015); Santana (2009); Thomas (2000)
Cooperação	Jardim (2007); Maslow (1968); Pellegrino; Hilton (2012); Vygotski (1994)
Autoestima	Gardner (2006); Jardim (2007); Kahneman (2012); Morin (2001 e 2003); Neisser et al. (1996); Pellegrino; Hilton (2012); Sternberg (1984); Toro (1988)
Autorrealização	Deci e Ryan (1985); Jardim (2007); Maslow (1968); Nóvoa (2009); Sheppard; Pellegrino; Olds (2008)

Fonte: o autor.

Como forma de validar as dimensões atribuídas às questões foram consultados cinco profissionais com formação em áreas tecnológicas como Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação, e Ciências da Computação. Após essa consulta ao time de especialistas, considerou-se satisfatória a distribuição das questões dentro das cinco dimensões pré-definidas.

Para poder mensurar o impacto da humanização do ensino na metodologia proposta e, por consequência, no aprendizado, as dimensões pertinentes as características das relações humanas (Autoestima, Autorrealização e Cooperação) foram aglutinadas em uma nova dimensão denominada “Humanização”, conforme apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Constructo de segunda ordem: humanização.



Fonte: o autor.

A nova dimensão criada busca apoio na revisão feita a respeito da humanização do ensino em engenharia e nas competências requeridas do século 21 (DUDERSTADT, 2010; MORIN, 2001; SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008; TORO, 1988).

Sua criação considera as competências intrapessoais e interpessoais, e busca compreender como ambas influenciam a formação do estudante. Considera-se que a humanização existe em um nível de abstração além daqueles que compõe a individualidade e a cooperação e serve, para os propósitos deste trabalho, como uma forma de agrupar competências consideradas não-técnicas (DUDERSTADT, 2010; SHEPPARD; PELLEGRINO; OLDS, 2008).

O uso de dimensões de ordem superior é recorrente quando da representação de constructos multidimensionais que existem em um nível mais alto de abstração e são relacionados a outros constructos em nível de abstração semelhante. Servindo como mediadores de influência entre constructos de ordem menor (BECKER; KLEIN; WETZELS, 2012; WETZELS; ODEKERKEN-SCHRÖDER; VAN OPPEN, 2009).

A dimensão de segunda ordem sugerida é considerada de tipo I (BECKER; KLEIN; WETZELS, 2012), por possuir constructos reflexivos ligados de forma também reflexiva no constructo superior, conforme apresentado na Figura 38.

A Figura 38 possui três tipos de variáveis (LOHMÖLLER, 1989):

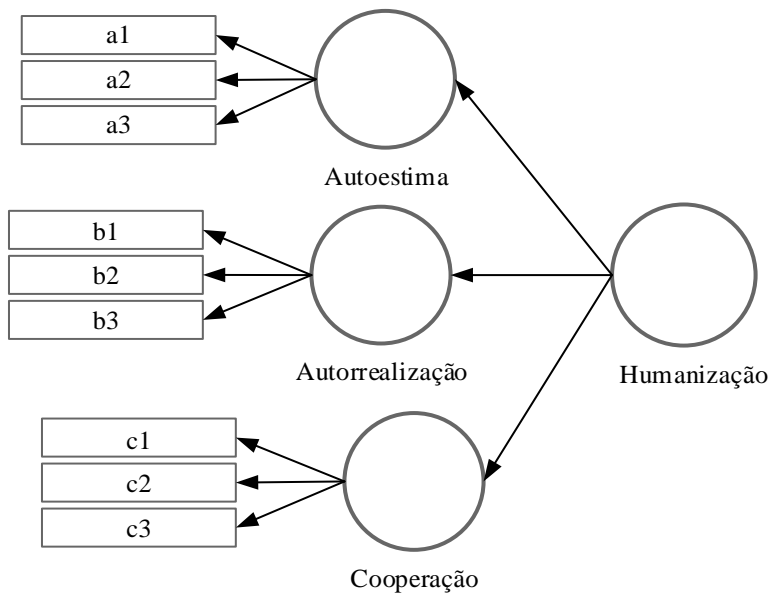
- 1) As variáveis observadas, nomeadas de forma genérica a1, a2, a3, b1, b2, etc., formadas por escalas Likert respondidas pelos participantes do projeto.
- 2) Os fatores de primeira ordem, intitulados Autoestima, Autorrealização e Cooperação. Eles não são diretamente observados, representam situações distintas que são de alguma forma correlatas.
- 3) O fator de ordem superior, nomeado Humanização, sendo ele a noção abstrata que as variáveis de primeira ordem possuem em comum, fazendo com que sejam correlatas.

A partir destas considerações, fica definida a Humanização como causa comum da Autoestima, Autorrealização e Cooperação.

Após a suposição de tal constructo de ordem superior, é possível analisar as hipóteses a respeito dos constructos definidos pelo levantamento da literatura apresentadas no Capítulo 2 e ilustradas na Figura 39.

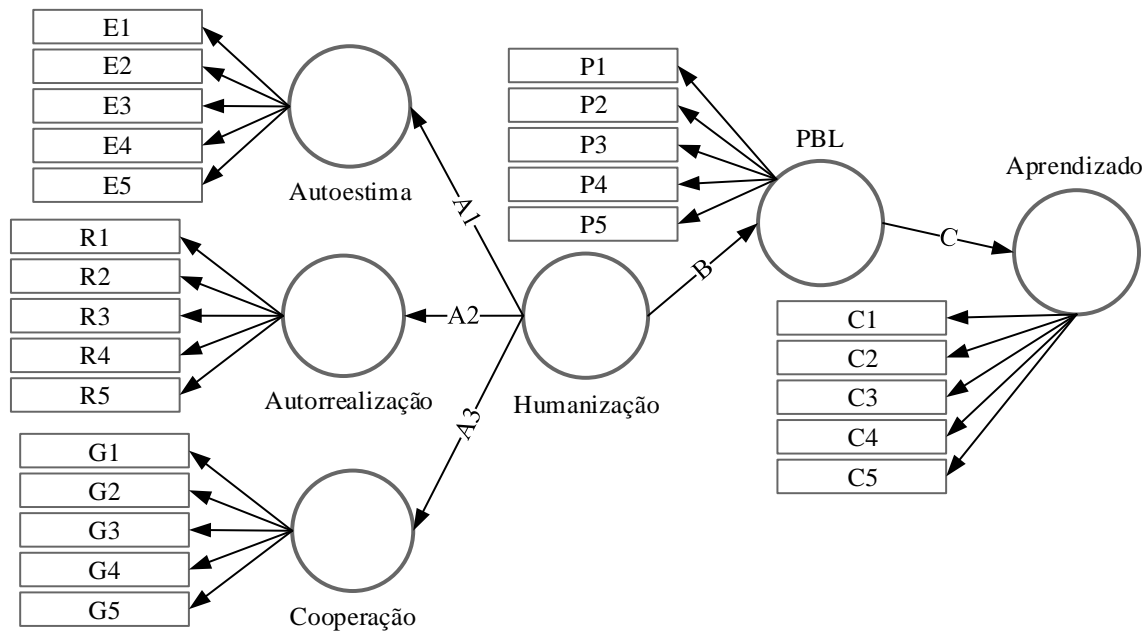


Figura 38 - Características tipo I do constructo Humanização.



Fonte: o autor.

Figura 39 - Modelo proposto de construção da PBL.



Fonte: o autor.

## FALANDO SOBRE A METODOLOGIA PROPOSTA

*A Project-Based Learning Agile tem em sua importância a adaptabilidade.*

*Buscou apontar ao estudante soluções por meio de feedforward.*

***Indivíduos e interações** mais que processos e ferramentas  
**Simulação em funcionamento** mais que documentação abrangente  
**Colaboração com o estudante** mais que negociação de prazos  
**Responder a mudanças** mais que seguir um plano*

A implementação da metodologia proposta se deu no Departamento de Engenharia Elétrica e Telecomunicações da Universidade Regional de Blumenau (FURB) durante o período de três anos (seis semestres letivos) e contou com o envolvimento de duas disciplinas<sup>76</sup> de uma mesma fase (oitava<sup>77</sup>) para facilitar a interação entre os estudantes.

Os primeiros preparativos – envolvendo a logística, comoção dos docentes e escolha das disciplinas – para a aplicação com os estudantes ocorreram no primeiro semestre de 2014, um antes da efetiva aplicação da metodologia, e resultou na aplicação piloto do projeto, ainda baseada nos preceitos do PMBOK (2013) retratada em Seman (2015). Em consequência do *feedback* da primeira aplicação, a metodologia foi reestruturada para melhor compreender o perfil dos estudantes envolvidos, dizendo respeito principalmente ao caráter noturno do curso.

Para a seleção das disciplinas participantes, foi feita uma análise de disciplinas de mesma fase da grade curricular da época da aplicação (2014) que possuísem compatibilidade considerada adequada em um projeto interdisciplinar. Foram levados em conta também os professores ministrantes das disciplinares e os perfis dos que tivessem mais propensão em participar do processo.

Por fim, as disciplinas selecionadas foram disciplinas da oitava fase do curso de Engenharia Elétrica, e foram escolhidas pela disponibilidade dos professores e interesse em participar do projeto, e também pela predileção e aptidão do pesquisador, de forma a poder colaborar melhor com o aprendizado dos estudantes. As duas disciplinas selecionadas, bem como suas respectivas ementas disponibilizadas pelo site da FURB, são apresentadas a seguir:

#### Eletrônica de Potência II – 4 créditos:

---

<sup>76</sup> O fato de englobar mais de uma disciplina é um dos principais fatores de diferenciação entre a PBL e a PbBL, apesar de não ser fator obrigatório.

<sup>77</sup> Considerou-se a oitava fase adequada para a experimentação da metodologia por contar com estudantes – empiricamente – mais maduros e experientes.

- **Ementa:** Semicondutores ativos de potência; conversores CC-CC chaveados; conversores CC-CA; princípios básicos de fontes chaveadas.
- **Objetivo:** analisar, projetar, selecionar, especificar e aplicar conversores CC-CC e CC-CA em sistemas elétricos.

Controle e Servomecanismos – 4 créditos:

- **Ementa:** Terminologia e modelagem de sistemas. Estabilidade. Funções de transferência. Índices de desempenho. Análise por Bode. Projeto e compensação usando diagramas de Bode. Análise de Nyquist e Nichols. Projeto e compensação usando Nyquist e Nichols. Análise por lugar das Raízes. Projeto e compensação usando lugar das Raízes. Compensação proporcional, integral e derivativa.
- **Objetivo:** Reconhecer as características dos diversos tipos de compensadores: proporcional, proporcional integrador, proporcional integrador derivativo, atraso de fase e avanço de fase; analisar a estabilidade dos sistemas; reconhecer as técnicas utilizadas para projeto de compensadores; projetar e analisar compensadores para sistemas eletroeletrônicos; analisar problemas envolvendo sistemas eletroeletrônicos.

A integração entre as duas disciplinas foi considerada importante pelo fato de envolver os estudantes com a Eletrônica de Potência da maneira que possam vir a se deparar no mercado de trabalho. Conversores controlados estão presentes no cotidiano, e a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias ligadas a eles é uma área em expansão.

Além disso, segundo a ementa das disciplinas da época, em Eletrônica de Potência II apresentam-se os conversores operando em apenas malha aberta, alertando-se sobre o fato de que se pode controlá-los de alguma forma, enquanto na disciplina de Controle e Servomecanismos as formas de controle são apresentadas de forma genérica e sem aplicação prática. Desse modo, a junção das duas linhas de conhecimento em um só projeto permite que o estudante possa ter um aprendizado mais completo, focado em problemas com aplicações reais.

Dois aspectos principais foram considerados importantes na aplicação dos projetos:

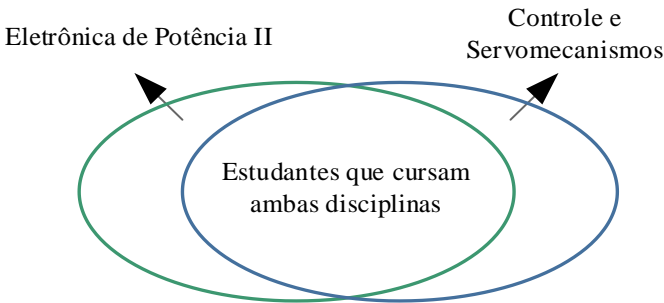
- **Diferenciação:** A fim de diferenciar os projetos, mas não de forma tão enfática a ponto de desencorajar a troca de informações

entre as equipes, cada grupo recebeu projetos semelhantes com especificações de parâmetros diferentes.

- **Equipe:** As equipes deveriam ser formadas por até cinco<sup>78</sup> estudantes. Um dos problemas relacionados à criação dos grupos dizia respeito ao fato de que, por motivos diversos, nem todos os estudantes estavam cursando as duas disciplinas simultaneamente, conforme ilustrado na Figura 40.

A formação de equipes foi considerada importante ao permitir a interação entre os estudantes, buscando embasamento na Zona de Desenvolvimento Proximal de Vygotsky (1994). Esperou-se que este aspecto permitisse a interação entre os participantes de forma a ampliarem seu conhecimento e se adaptarem a um modelo de desenvolvimento mais próximo ao mercado de trabalho.

Figura 40 - Conjunto intersecção das duas disciplinas.



Fonte: o autor.

Os estudantes que não faziam parte do conjunto intersecção das disciplinas, ainda poderiam ser divididos em dois grupos: os que já cursaram a disciplina que não estão fazendo, e os que ainda estavam por cursar. Desses, somente o grupo dos que ainda não cursaram poderia gerar algum problema no andamento do projeto, mas por meio da recomendação de que, ao menos, o grupo em seu total possuísse integrantes das duas disciplinas para compartilhar experiências e conhecimentos, esperou-se que a situação fosse amenizada.

Para compor a avaliação no projeto são relacionados aspectos como: criatividade, originalidade, organização, fidelidade, viabilidade técnica e econômica. Estes aspectos foram utilizados para compor três

<sup>78</sup> Este número sofreu variações ao longo das aplicações.

notas, que foram utilizadas como forma de calcular a média final em cada uma das disciplinas envolvidas.

- Nota geral do projeto: a nota geral do projeto leva em conta o projeto como um todo, observando pontos como sua viabilidade, organização, criatividade e assuntos não contidos na ementa padrão. Esta nota é a mesma para toda a equipe;
- Nota referente aos conversores: nota atribuída somente pelo projeto dos conversores, estipulada com critérios elaborados pelo professor da disciplina de Eletrônica de Potência II e dada individualmente a cada estudante;
- Nota referente ao controle: nota atribuída somente pelo projeto de controle do segundo conversor, estipulada com critérios elaborados pelo professor da disciplina de Controle e Servomecanismos e dada individualmente a cada estudante.

Foi pedido aos professores que utilizassem as três notas dadas a cada projeto para compor uma nota única para ser utilizada em sua disciplina, e que essa possuísse um peso suficientemente grande<sup>79</sup> na média final de forma a manter o estudante interessado no desenvolvimento do projeto.

A média final na disciplina de Eletrônica de Potência II foi composta por três notas, sendo uma derivada do projeto integrado. As duas primeiras notas fazem referência às provas comuns (N1 e N2), e a terceira, derivada do projeto, foi composta pela média aritmética entre a nota geral do projeto (*NGP*) e a nota referente aos conversores (*NGF*), conforme apresentado em (135).

$$MF_{POTÊNCIA} = \frac{N1 + N2 + (0,5NGP + 0,5NGF)}{3} \quad (135)$$

Já a média final na disciplina de Controle e Servomecanismos foi composta por 3 notas, sendo uma derivada do projeto integrado. As duas primeiras notas fazem referência às provas comuns (N1 e N2), e a terceira, derivada do projeto, foi composta pela média aritmética entre a nota geral do projeto (*NGP*) e a nota referente ao controle (*NGC*), conforme apresentado em (136).

---

<sup>79</sup> Neste ponto o projeto também se diferencia da literatura tradicional, que sugere que a PBL seja central no currículo. A necessidade de tornar o projeto como algo auxiliar e não central vem novamente do perfil de período não-integral do curso.

$$MF_{CONTROLE} = \frac{N1 + N2 + (0,5NGP + 0,5NGC)}{3} \quad (136)$$

## 5.1 APLICAÇÕES

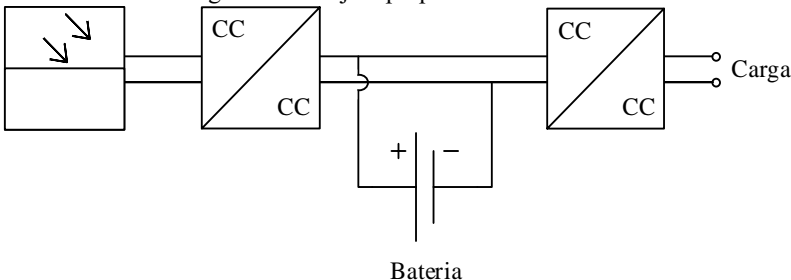
Cada uma das aplicações foi utilizada para analisar o modelo como um todo, e posteriormente foram comparadas entre si para averiguar diferenças estatísticas. Mesmo que o objetivo por trás do projeto tenha sido o mesmo em todos os semestres, os estudantes foram submetidos a experiências diferentes durante suas jornadas.

Não se está aqui discorrendo apenas de suas experiências pessoais, que também foram diferentes, é claro, mas sim da experiência grupal entre um semestre e outro. Aqui levam-se em conta fatores que podem ter alterado a experiência de toda uma turma durante o semestre, como: a sala estar mais barulhenta no dia de uma aplicação, os estudantes estarem incomodados com a temperatura por estarem submetidos a estações do ano diferentes, ou até mesmo o humor do professor durante uma explicação. Todos esses fatores corroboram para uma experiência única em cada semestre, requerendo, portanto, uma análise individual detalhada.

### 5.1.1 Aplicação de 2014/2

Foi proposto aos estudantes o projeto de um equipamento para alimentar uma carga (de potência pré-definida) por um painel fotovoltaico com a disponibilidade de um sistema de redundância dado por meio de uma bateria, que deve ser carregada pelo mesmo painel. O intuito do tema foi incluir tecnologias atuais e de grande utilização e para facilitar a compreensão do objetivo, a Figura 41 foi utilizada para ilustrar aos estudantes a proposta desejada.

Figura 41 - Projeto proposto aos estudantes.





---

Fonte: Seman (2016).

A aplicação do projeto não se destinou simplesmente a oferecer ao estudante um passo a passo sobre o que deveria fazer, mas sim oferecer um grau de liberdade tal qual um cliente lhe proporcionaria, delimitando apenas os parâmetros requeridos. Portanto para o desenvolvimento do projeto a equipe deveria:

- Desenvolver uma proposta de produto levantando as principais necessidades a serem supridas no projeto;
- Desenvolver um estudo orçamentário da proposta;
- Elaborar um projeto técnico detalhado do equipamento, documentado de forma textual e gráfica;
- Apresentar simulações dos resultados alcançados pelo equipamento.

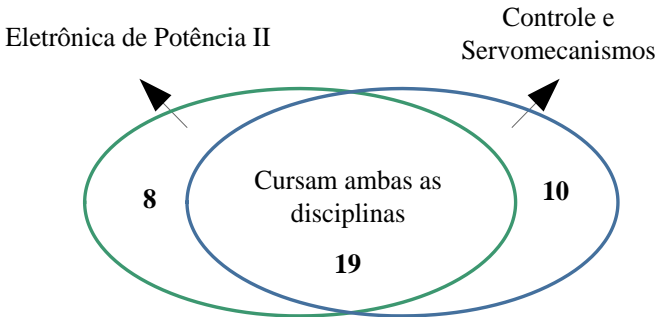
Como consequência da realização desses passos, esperou-se que o estudante ao final do projeto adquirisse as seguintes aptidões:

1. Conhecer, compreender e analisar o funcionamento de um painel fotovoltaico;
2. Conhecer, compreender e analisar o funcionamento das baterias e dos métodos de carga;
3. Selecionar, compreender e projetar conversores propícios para a realização do projeto;
4. Selecionar, compreender e projetar o controlador de tensão de um conversor estático.

É importante salientar que os entendimentos 3 e 4 são previstos no currículo normal do curso de graduação, seja ele aplicando ou não um projeto de PBL, enquanto os entendimentos 1 e 2 são destinados a conhecimentos não curriculares, que não seriam adquiridos por intermédio do plano de ensino habitual.

Esta primeira aplicação contou com 37 estudantes, divididos em cinco grupos, distribuídos entre as disciplinas conforme apresentado na Figura 42.

Figura 42 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2014/2).



Fonte: Seman (2015).

A seguir são retratados alguns trechos retirados dos relatórios dos estudantes a respeito do trabalho:

O trabalho foi de suma importância porque permitiu que as técnicas de controle e de conversores cc-cc fossem aplicadas, além do estudo de ferramentas de cálculo e simulação como o PSIM e MATLAB, todo esse estudo proporcionou a união da prática com a teoria (GRUPO 5, 2014/2, p. 33).

Este trabalho foi muito importante para a compreensão e aprofundamento dos conhecimentos de conversores CC em eletrônica de potência e técnicas de controle, analógicos e digitais. Este projeto integrado abre caminho para a descoberta e inovação no meio acadêmico, reforçando ainda mais as aptidões e qualidades na formação de engenharia elétrica. (GRUPO 4, 2014/2, p. 44).

Os envolvidos na aplicação e elaboração deste projeto piloto consideraram sua aplicação muito burocrática, o que culminou na criação da metodologia *Project-Based Learning Agile*, retratada no capítulo anterior.

### 5.1.2 Aplicação de 2015/1

Em 2015/1 tentou-se simplificar o projeto, e também as instruções passadas aos estudantes referentes a ele. No começo do semestre o trabalho foi divulgado e as seguintes informações foram pedidas para o

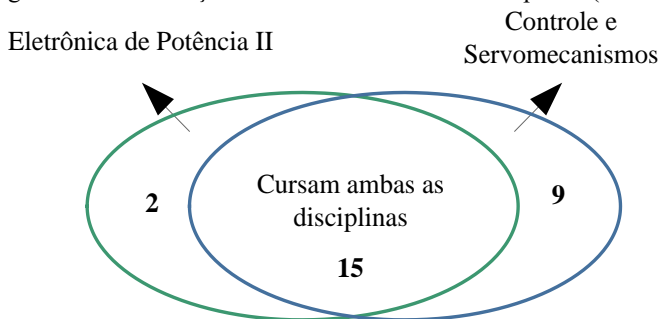
trabalho final, referentes ao projeto de um conversor CC-CC buck<sup>80</sup> cujos parâmetros foram passados para cada grupo:

- Dimensionamento dos parâmetros e componentes do conversor;
- Dimensionamento físico do indutor referente ao projeto;
- Simulação do conversor em malha aberta;
- Projeto de controle para o conversor (analógico e digital);
- Simulação do conversor em malha fechada;

Neste semestre muita da complexidade do projeto piloto foi deixada de lado, como é possível perceber pelas características pedidas, painéis solares e carregamento de baterias foram deixados de lado.

Esta aplicação contou com 26 estudantes, divididos em cinco grupos, distribuídos entre as disciplinas conforme apresentado na Figura 43.

Figura 43 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2015/1).



Fonte: dados do projeto.

Novamente nesta aplicação, a opinião dos estudantes pode ser extraída de forma parcial das conclusões de seus relatórios finais:

O projeto em si facilitou demais a visualização do real funcionamento de um conversor chaveado e de uma planta de controle, embora apenas de forma teórica (GRUPO 1, 2015/1, p. 51).

Várias técnicas foram utilizadas e uteis para o aprendizado, gerando uma ótima ideia geral tanto

<sup>80</sup> Tipicamente uma topologia de conversor CC-CC abaixadora de tensão, que visa converter uma tensão contínua de entrada em uma tensão de saída de menor valor.

de potência como de controle, mostrando que por mais simples que possa parecer no final, é necessário conhecimento e decisões de engenharia para criar um perfeito equipamento, mostrando o quanto é importante que um engenheiro eletricista tome as decisões técnicas corretas (GRUPO 2, 2015/1, p. 37).

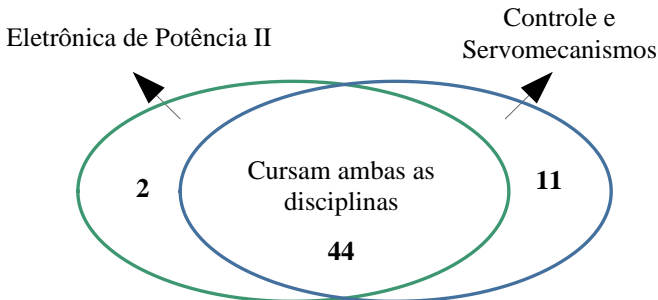
O trabalho foi de suma importância porque permitiu que as técnicas de controle e de conversores CC-CC fossem aplicadas, além do estudo de ferramentas de cálculo e simulação como o PSIM e o MATLAB, todo esse estudo proporcionou a união da prática com a teoria (GRUPO 5, 2015/1, p. 33).

### 5.1.3 Aplicação de 2015/2

Já na aplicação ocorrida em 2015/2, manteve-se o caráter simplificado do projeto, novamente o foco foi o projetor de um conversor buck. Dadas especificações diferentes de projeto aos estudantes, foi pedido aos estudantes que desenvolvessem o mesmo apresentado em 2015/1.

Esta aplicação contou com 57 estudantes, divididos em doze grupos, distribuídos entre as disciplinas conforme apresentado na Figura 44.

Figura 44 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2015/2).



Fonte: dados do projeto.

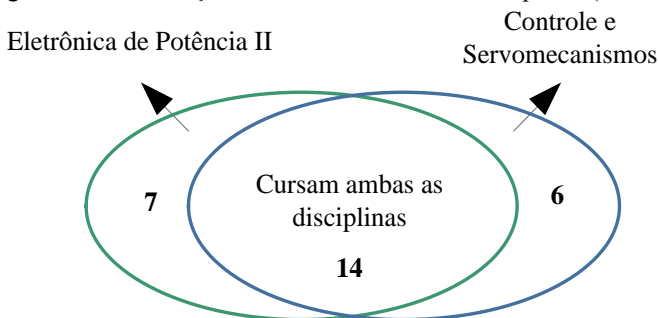
O grande número de estudantes e conseqüentemente de grupos envolvidos no trabalho trouxe à sua aplicação um teor de dificuldade que ainda não havia sido enfrentado pelos tutores.

### 5.1.4 Aplicação de 2016/1

Neste ponto, completando quatro semestres desde sua primeira aplicação, o projeto integrado já havia integrado o folclore do curso de Engenharia Elétrica da FURB, e muito diferente daquela primeira aplicação – ainda bastante insegura – os estudantes já esperavam pelo projeto e ansiavam por ele, muitos já fazendo questão de acomodar sua grade para cursar as duas disciplinas simultaneamente.

Esta aplicação foi a última que teve como foco o projeto e controle de um conversor buck, mantendo dentro das características do projeto o mesmo pedido em 2015/1 e 2015/2. Contou com 27 estudantes, divididos em seis grupos, distribuídos entre as disciplinas conforme apresentado na Figura 45.

Figura 45 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2016/1).



Fonte: dados do projeto.

No final desta aplicação, pode-se extrair as seguintes opiniões dos relatórios:

Finalizamos então este trabalho com a certeza de que além dos objetivos alcançados tivemos a grata satisfação de executar um projeto em grupo e que as discussões durante a execução do mesmo colaboraram em muito para o engrandecimento do conhecimento individual de cada integrante (GRUPO 3, 2016/1, p. 44).

Este trabalho foi muito importante para a compreensão e aprofundamento dos conhecimentos de

conversores CC em eletrônica de potência e técnicas de controle analógicos e digitais (GRUPO 2, 2016/1, p. 62).

### 5.1.5 Aplicação de 2016/2

Neste ponto do projeto, devido a mudanças na grade curricular do curso de Engenharia Elétrica da FURB, as disciplinas de Controle e Servomecanismo e Eletrônica de Potência II não mais eram ministradas na mesma fase do curso.

O projeto passou a ser implementado entre as disciplinas de Controle e Servomecanismos e Eletrônica de Potência I, esta contendo a seguinte ementa e objetivo:

#### Eletrônica de Potência I – 4 créditos:

- **Ementa:** Semicondutores de potência; retificadores a diodo; retificadores a tiristor; inversores não-autônomos; gradadores; princípios de conversores duais e cicloconversores; circuitos básicos para controle de fase.
- **Objetivo:** Identificar, projetar, selecionar e aplicar semicondutores de potência em circuitos eletrônicos. Analisar, projetar, selecionar, especificar e aplicar conversores estáticos CA-CC em sistemas elétricos.

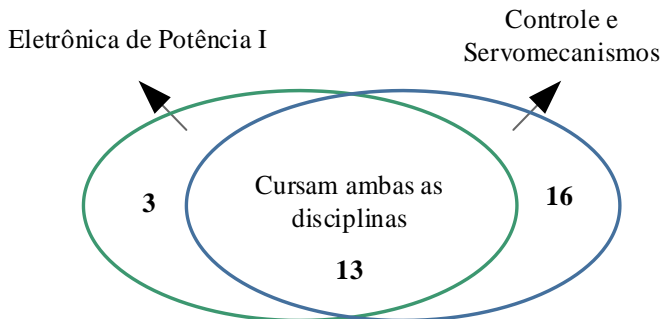
O aspecto principal do projeto se manteve o mesmo, objetivando controlar uma estrutura de eletrônica de potência, que deixou de ser um conversor CC-CC em prol de um conversor CA-CC (retificador).

A proposta do semestre consistiu em realizar o controle de velocidade de um motor CC com excitação independente por meio de uma ponte retificadora mista de tiristores, em que cada equipe recebeu diferentes posicionamento de tiristores dentro das pontes retificadoras e diferentes valores de cargas, além de variações máximas de tensão. Diante deste projeto, o seguinte foi requisitado aos estudantes:

- Dimensionamento dos parâmetros e componentes do conversor;
- Simulação do conversor conectado ao motor em malha aberta;
- Projeto de controlador de velocidade para o motor (analógico e digital);
- Simulação do conversor conectado ao motor em malha fechada;

Esta aplicação contou com 35 estudantes, divididos em oito grupos<sup>81</sup>, distribuídos entre as disciplinas conforme apresentado na Figura 46.

Figura 46 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2016/2).



Fonte: dados do projeto.

Esta aplicação se tornou diferenciada por ser a primeira desde o início do projeto a englobar uma disciplina diferente, trazendo um importante aspecto de testar a metodologia em outros ambientes e fechando o ciclo inicial do trabalho.

É importante salientar que apesar da troca da disciplina de Eletrônica de Potência II pela disciplina de Eletrônica de Potência I, o professor responsável pela parte de potência do projeto se manteve o mesmo.

### 5.1.6 Aplicação de 2017/1

Na aplicação de 2017/1 o projeto integrado continuou com as disciplinas de Eletrônica de Potência I e Controle e Servomecanismos, novamente envolvendo uma ponte retificadora de tiristores visando controlar a velocidade de um motor CC.

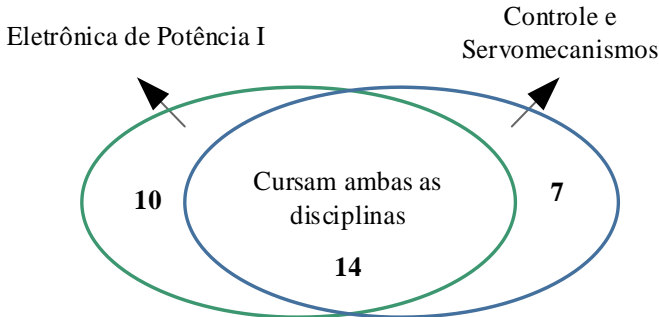
A principal diferença desta aplicação em específico ocorreu na alteração de um dos docentes. Desde a primeira aplicação do projeto em 2014/2 os dois docentes envolvidos continuavam os mesmos, neste projeto, entretanto, o professor da disciplina Eletrônica de Potência I foi alterado.

<sup>81</sup> Um dos grupos participantes, composto de 3 estudantes, são referentes ao projeto aplicado no período matutino. A pedido dos estudantes, o projeto que foi inicialmente projetado em uma época em que o curso era somente noturno, teve sua primeira aplicação no contra turno.

Este novo professor enfatizou a parte digital do projeto, envolvendo dos estudantes diversas competências ligadas à linguagem de programação C.

Esta aplicação contou com a participação de 31 estudantes, divididos em seis grupos, distribuídos entre as disciplinas conforme Figura 52.

Figura 47 - Distribuição dos estudantes entre as disciplinas (2017/1).



Fonte: dados do projeto.

As seguintes opiniões foram extraídas dos relatórios entregues pelos estudantes:

Além de ser uma excelente maneira de integrar disciplinas do nosso eixo, nos mostra uma de muitas aplicações práticas para toda teoria aprendida em diversas disciplinas no decorrer do curso. Certamente, propiciou a nós o interesse em aprofundarmos nossos conhecimentos em conversores e controle (GRUPO 6, 2017/1, p. 20).

Finalizamos então este trabalho com a certeza de que, além dos objetivos alcançados, tivemos a grata satisfação de executar um projeto em grupo e que as discussões durante a execução do mesmo colaboraram em muito para o engrandecimento do conhecimento individual de cada integrante (GRUPO 5, 2017/1, p. 30).

## 5.2 ANÁLISE DAS APLICAÇÕES

Após seis aplicações (fechando um ciclo de três anos) a coleta de dados para a estruturação do modelo chegou ao fim, contudo até a data da



elaboração deste documento (2017/2), o projeto integrado ainda continuava sendo aplicado no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional de Blumenau.

Cada um dos projetos analisados teve a temática conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Assunto abordado no projeto por semestre.

<b>Semestre</b>	<b>Projeto</b>
2014/2	Projeto de carga alimentada por painel fotovoltaico com redundância (bateria);
2015/1	Dimensionamento e controle de conversor buck;
2015/2	Dimensionamento e controle de conversor buck;
2016/1	Dimensionamento e controle de conversor buck.
2016/2	Controle de velocidade de um motor CC com excitação independente por meio de ponte retificadora de tiristores;
2017/1	Controle de velocidade de um motor CC com excitação independente por meio de ponte retificadora de tiristores, com ênfase na parte digital.

Fonte: dados do projeto.

Ao todo, 188 estudantes participaram da pesquisa respondendo os questionários entregues durante as intervenções, divididos conforme apresentado na Tabela 11. Esta soma foi utilizada para realizar a análise integral da repercussão do projeto, apresentada neste subcapítulo.

Tabela 11 - Total de respondentes por semestre.

<b>Semestre</b>	<b>Respondentes</b>
2014/2	33
2015/1	24
2015/2	54
2016/1	23
2016/2	28
2017/1	26

Fonte: dados do projeto.

### **5.2.1 Análise de Frequência**

Após todas as aplicações do projeto realizadas até o momento, a análise de frequência<sup>82</sup> dos resultados obtidos é apresentada na Tabela 12, Tabela 13, Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16.

---

<sup>82</sup> O fato de alguns indicadores não alcançarem a soma de 100% está ligado à análise de frequência ter sido realizada sem a imputação dos dados faltantes.

Tabela 12 - Dimensão: PBL – Resultados totais.

	<b>Indicadores</b>	<b>Frequência (%)</b>					<b>Neg. (%)</b>	<b>Indif. (%)</b>	<b>Pos. (%)</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
P1	Gostaria de repetir esta experiência em outras disciplinas.	3,7	7,4	11,7	32,4	44,1	<b>11,2</b>	<b>11,7</b>	<b>76,6</b>
P2	Considerarei a relação interdisciplinar positiva para meu aprendizado.	1,6	7,4	6,9	34,6	48,9	<b>9,0</b>	<b>6,9</b>	<b>83,5</b>
P3	O prazo para a realização do projeto foi satisfatório.	4,3	14,4	23,9	33,0	22,9	<b>18,6</b>	<b>23,9</b>	<b>55,9</b>
P4	No final do projeto, cumpri os objetivos que eu almejava.	1,6	5,9	11,7	58,0	21,8	<b>7,4</b>	<b>11,7</b>	<b>79,8</b>
P5	Não me senti sobrecarregado com a realização da PBL.	11,7	28,2	34,0	16,5	8,0	<b>39,9</b>	<b>34,0</b>	<b>24,5</b>

Fonte: dados do projeto.

Tabela 13 - Dimensão: “Aprendizado” – Resultados totais.

	<b>Indicadores</b>	<b>Frequência (%)</b>					<b>Neg. (%)</b>	<b>Indif. (%)</b>	<b>Pos. (%)</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
C1	...na sua capacidade de resolver problemas de eletrônica de potência.	3,7	4,8	18,6	52,7	16,5	<b>8,5</b>	<b>18,6</b>	<b>69,1</b>
C2	...na sua capacidade de resolver problemas de controle.	4,3	4,3	15,4	43,1	31,4	<b>8,5</b>	<b>15,4</b>	<b>74,5</b>
C3	...na sua melhora na capacidade de tomar decisões de engenharia.	2,7	2,1	18,6	48,9	27,1	<b>4,8</b>	<b>18,6</b>	<b>76,1</b>
C4	...na sua melhora na capacidade de buscar informações por si mesmo.	0,5	1,6	13,8	50,5	32,4	<b>2,1</b>	<b>13,8</b>	<b>83,0</b>
C5	...na sua melhora em resolver problemas apresentados em sala de aula.	1,6	3,2	17,6	48,9	27,7	<b>4,8</b>	<b>17,6</b>	<b>76,6</b>

Fonte: dados do projeto.

Tabela 14 - Dimensão: "Cooperação" – Resultados totais.

	<b>Indicadores</b>	<b>Frequência (%)</b>					<b>Neg. (%)</b>	<b>Indif. (%)</b>	<b>Pos. (%)</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
G1	...senti que a cooperação ajudou a desenvolver novas ideias.	2,1	4,8	13,3	43,1	36,2	<b>6,9</b>	<b>13,3</b>	<b>79,3</b>
G2	...costumo reconhecer as competências de meus colegas.	0,5	0	5,3	46,8	46,3	<b>0,5</b>	<b>5,3</b>	<b>93,1</b>
G3	...senti que todos colaboraram na procura por soluções.	3,2	10,6	16,0	36,7	33,0	<b>13,8</b>	<b>16,0</b>	<b>69,7</b>
G4	...aprecio a união que se cria entre as pessoas.	0	2,7	10,6	37,8	48,4	<b>2,7</b>	<b>10,6</b>	<b>86,2</b>
G5	...aumento a estima pelos companheiros.	0	3,7	12,8	41,5	41,5	<b>3,7</b>	<b>12,8</b>	<b>83,0</b>

Fonte: dados do projeto.

Tabela 15 - Dimensão: “Autoestima” – Resultados totais.

	<b>Indicadores</b>	<b>Frequência (%)</b>					<b>Neg. (%)</b>	<b>Indif. (%)</b>	<b>Pos. (%)</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
E1	...me senti confortável quando tive de enfrentar situações não previstas.	2,1	14,4	26,6	44,7	12,2	<b>16,5</b>	<b>26,6</b>	<b>56,9</b>
E2	...consegui minimizar os efeitos negativos das adversidades.	1,6	6,4	23,4	53,7	14,9	<b>8,0</b>	<b>23,4</b>	<b>68,6</b>
E3	...me mantive equilibrado mesmo diante das situações estressantes	3,7	8,5	24,5	44,7	17,6	<b>12,2</b>	<b>24,5</b>	<b>62,2</b>
E4	...tenho consciência das minhas capacidades intelectuais.	0	1,6	10,6	59,0	27,7	<b>1,6</b>	<b>10,6</b>	<b>86,7</b>
E5	...julgo ter capacidades para ser bem-sucedido.	0,5	2,7	7,4	48,9	40,4	<b>3,2</b>	<b>7,4</b>	<b>89,4</b>

Fonte: dados do projeto.

Tabela 16 - Dimensão: "Autorrealização" – Resultados totais.

	<b>Indicadores</b>	<b>Frequência (%)</b>					<b>Neg. (%)</b>	<b>Indif. (%)</b>	<b>Pos. (%)</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
R1	...tenho força de vontade para realizar aquilo a que me proponho.	0	0,5	5,9	47,9	45,2	<b>0,5</b>	<b>5,9</b>	<b>93,1</b>
R2	...envolvi todas as minhas capacidades no trabalho que foi feito.	1,6	2,1	17,6	51,1	27,1	<b>3,7</b>	<b>17,6</b>	<b>78,2</b>
R3	...me sinto realizado como estudante	1,1	6,4	19,1	43,6	29,3	<b>7,4</b>	<b>19,1</b>	<b>72,9</b>
R4	...sinto que os professores contribuíram para o meu desenvolvimento.	1,6	5,3	9,6	41,5	41,5	<b>6,9</b>	<b>9,6</b>	<b>83,0</b>
R5	...sinto que a cada ano desenvolvo mais minhas habilidades.	0,5	1,1	6,4	42,6	48,9	<b>1,6</b>	<b>6,4</b>	<b>91,5</b>

Fonte: dados do projeto.

A partir do resultado dos questionários é possível inferir que embora grande parte dos estudantes gostaria de repetir esta experiência em outras disciplinas (76,6%) e também consideraram a relação interdisciplinar positiva para o aprendizado (83,5%), apenas um percentual pouco maior que a metade (55,9%) considerou o prazo para a realização do trabalho satisfatório.

Outro fator a ser considerado é que apenas 24,5% dos estudantes não se sentiu sobrecarregados com a realização do projeto em paralelo as aulas tradicionais.

O agrupamento responsável por mensurar o impacto da PBL também trouxe resultados considerados satisfatórias, em que 69,1% dos estudantes consideraram positiva sua melhora na capacidade de resolver problemas de eletrônica de potência e 74,5% consideraram positiva sua melhora na capacidade de resolver problemas de controle. Chama também atenção o fato de que 83,0% dos estudantes viram uma melhora na sua capacidade de buscar informações por si mesmo, fator importante em um projeto deste tipo que busca a autonomia.

A cooperação também se mostrou um aspecto positivo para os estudantes diante da realização do projeto, tendo todos os indicadores em níveis considerados satisfatórios.

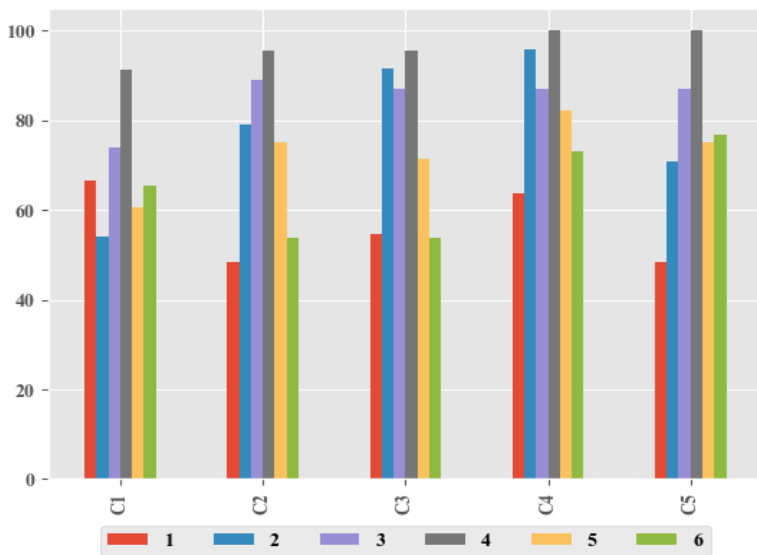
Já em relação aos indicadores derivados da autoestima, um fator a ser considerado é que apenas 56,9% dos estudantes se sentiram confortáveis quando enfrentaram situações não previstas e 62,2% mantiveram o equilíbrio mesmo diante de situações estressantes.

Por fim, quanto ao agrupamento das questões derivadas da autorrealização, os estudantes demonstram que consideram ter força de vontade para alcançar seus objetivos (93,1%) e que vem se desenvolvendo constantemente a cada ano (91,5%), porém, um valor pouco menor, de 83,0% afirma que se sente realizado quanto ao seu papel como estudante.

De forma a compreender a evolução do projeto diante das aplicações, e como o impacto dele nos estudantes foi se alterando, a Figura 48, Figura 49, Figura 50, Figura 51 e Figura 52 apresentam a comparação da análise de frequência de todas as aplicações respectivamente para as dimensões Aprendizado, PBL, Autoestima, Autorrealização e Cooperação.

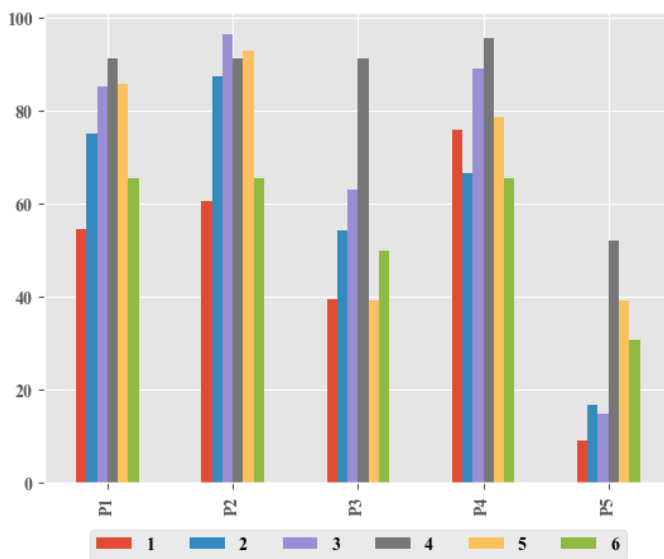


Figura 48 - Análise de frequência das aplicações a dimensão Aprendizado.



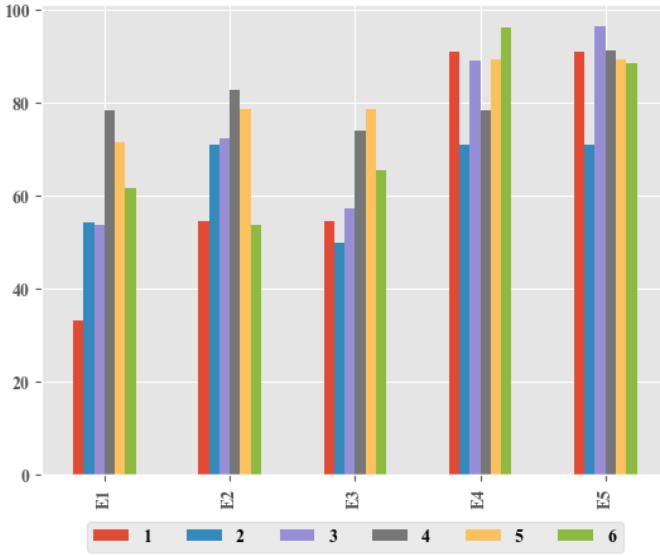
Fonte: dados do projeto

Figura 49 - Análise de frequência das aplicações para a dimensão PBL.



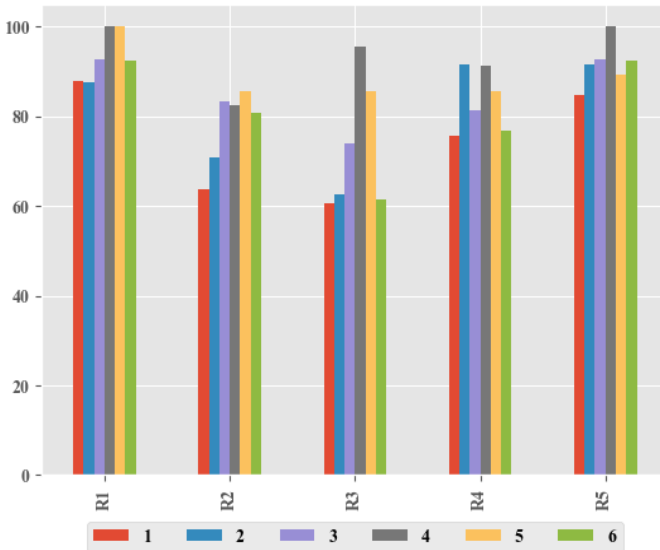
Fonte: dados do projeto

Figura 50 - Análise de frequência das aplicações a dimensão Autoestima



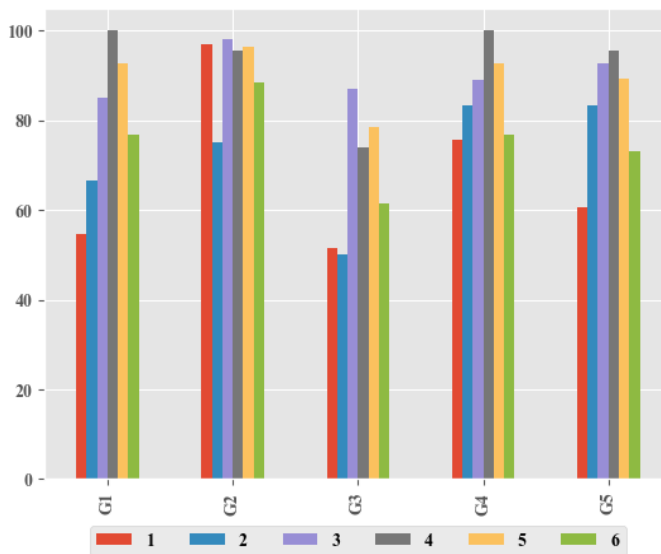
Fonte: dados do projeto

Figura 51 - Análise de frequência das aplicações para a dimensão Autorrealização.



Fonte: dados do projeto

Figura 52 - Análise de frequência das aplicações para a dimensão Cooperação.



Fonte: dados do projeto

A análise da progressão dos resultados reflete, de forma geral, os acontecimentos ao longo dos 3 anos de aplicação do projeto integrado.

As primeiras quatro aplicações apresentam um crescente, em momentos em que o projeto englobava as disciplinas de Controle e Servomecanismos e Eletrônica de Potência II. Foram quatro aplicações em que os professores tiveram tempo para amadurecer o projeto, simplificando e desburocratizando os relatórios pedidos.

Na quinta aplicação, com a troca de Eletrônica de Potência II para Eletrônica de Potência I como componente do projeto integrado, houve uma queda em relação a percepção dos estudantes, isso pode se relacionar com um projeto totalmente novo sendo aplicado, relacionando motores e tiristores.

Na sexta aplicação a queda voltou a ocorrer, momento em que pela primeira vez o projeto não foi aplicado pelos dois professores originais das disciplinas, participando um novo professor da disciplina de Eletrônica de Potência I. Um diferencial nessa aplicação foi a exigência de uma parte digital mais complexa dos estudantes, envolvendo competências na linguagem de programação C. Nesta aplicação em específico, apesar da maior partes dos critérios terem decaído, o item relacionado ao

aprendizado em Eletrônica de Potência voltou a subir, sinalizando que a troca de professores pode ser positiva para uma revitalização do processo.

No geral, percebeu-se uma relação dos semestres em que o projeto foi considerado mais “fácil” pelos professores com a aceitação dos estudantes, sinalizando que o quesito facilidade está diretamente ligado ao interesse dos estudantes em repetir a experiência.

### 5.2.2 Análise Descritiva e de Componentes Principais

Como forma de analisar o questionário desenvolvido antes de submetê-lo à Modelagem de Equações Estruturais, é importante compreender a forma como estão distribuídos os dados dos respondentes e seus agrupamentos dentro das dimensões previamente definidas no mirante teórico.

O passo inicial se dá pela análise descritiva, apresentada na Tabela 17, onde estão listados o valor médio, desvio padrão, curtose e assimetria de cada item pesquisado.

Tabela 17 - Média e desvio padrão dos resultados totais.

<b>Indicador</b>	<b>Valor Médio</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Curtose</b>	<b>Assimetria</b>
P1	4,062	1,09	-1,158	0,622
P2	4,216	0,982	-1,327	1,173
P3	3,56	1,121	-0,431	-0,641
P4	3,932	0,849	-1,086	1,596
P5	2,798	1,098	0,234	-0,544
C1	3,758	0,918	-1,052	1,353
C2	3,939	1,015	-1,108	1,072
C3	3,954	0,891	-1,014	1,515
C4	4,133	0,748	-0,749	1,012
C5	3,981	0,856	-0,887	1,15
G1	4,071	0,935	-1,122	1,219
G2	4,397	0,639	-1,078	2,898
G3	3,861	1,088	-0,815	-0,099
G4	4,326	0,769	-0,987	0,471
G5	4,214	0,804	-0,837	0,189
E1	3,505	0,954	-0,457	-0,304
E2	3,739	0,845	-0,747	0,789
E3	3,649	0,986	-0,717	0,275
E4	4,141	0,654	-0,503	0,644
E5	4,261	0,752	-1,145	2,033
R1	4,386	0,62	-0,632	0,131
R2	4,005	0,822	-0,928	1,579

R3	3,941	0,912	-0,725	0,211
R4	4,164	0,917	-1,241	1,457
R5	4,391	0,701	-1,272	2,644

Fonte: dados da pesquisa.

Pela curtose e assimetria percebe-se que os dados possuem uma tendência não-normal. Para checar a distribuição dos dados será utilizado teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) – recorrente na literatura (RAZALI; WAH, 2011) – que tem como base as seguintes hipóteses:

- $H_0$ : as observações são retiradas de uma população distribuída normalmente (os dados possuem distribuição normal).
- $H_1$ : as observações são de uma população distribuída não-normalmente (os dados não possuem distribuição normal).

O índice de Shapiro-Wilk é calculado conforme apresentado em (137).

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (137)$$

Onde  $x_{(i)}$  representa a  $i$ -ésima ordem estatística<sup>83</sup> de uma amostra;  $\bar{x}$  representa a média da amostra e  $a_i$  são constantes geradas pelas médias, variâncias e covariâncias da ordem estatísticas de tamanho  $n$  de uma distribuição normal<sup>84</sup>.

O resultado da checagem de normalidade para cada um dos itens é apresentado na Tabela 18, sendo  $W$  o valor padronizado do teste calculado. Com base na verificação dos resultados é possível rejeitar a hipótese nula de que os dados são retirados de uma população com distribuição normal, com uma significância de 5%. Desta forma é mantida a hipótese alternativa de que os dados possuem uma distribuição não-normal.

<sup>83</sup> A  $i$ -ésima ordem estatística de uma amostra é referente ao seu  $i$ -ésimo menor valor.

<sup>84</sup> Para valores tabelados, se referir a Pearson e Hartley (1972).

Tabela 18 - Teste de Saphiro-Wilk: verificação da normalidade.

<b>Indicador</b>	<b>W<sup>85</sup></b>
P1	0,792
P2	0,755
P3	0,894
P4	0,798
P5	0,914
C1	0,823
C2	0,822
C3	0,823
C4	0,812
C5	0,832
G1	0,81
G2	0,729
G3	0,847
G4	0,771
G5	0,801
E1	0,88
E2	0,842
E3	0,869
E4	0,784
E5	0,767
R1	0,75
R2	0,819
R3	0,851
R4	0,784
R5	0,739

Fonte: dados da pesquisa.

Posteriormente deve-se testar a adequação do questionário à análise fatorial por meio do índice Kaiser-Meyer-Oldin (KMO) e do Teste de Esfericidade de Bartlett. Os valores dos dois testes são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Adequação à análise fatorial.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>
Índice Kaiser-Meyer-Olkin	0,895
Teste de Esfericidade de Bartlett	<< 0,001

Fonte: dados da pesquisa.

<sup>85</sup> Todos os valores apresentaram *p-value* menor que 0,001.

O resultado do índice KMO ser acima do recomendável (0,5) indica que o questionário é adequado para a análise fatorial, enquanto o teste de esfericidade de Barlett rejeita a hipótese de que as variáveis não são correlacionadas na população, desta forma pode-se dar prosseguimento a Análise Fatorial e a checagem da unidimensionalidade dos constructos.

Para analisar cada uma das dimensões e averiguar se elas devem ser divididas ou devem manter a estrutura derivada da literatura (unidimensionalidade) (BIDO; MANTOVANI; COHEN, 2016), é necessário realizar a extração dos componentes, realizada neste trabalho por meio da Análise de Componentes Principais.

A partir deste método, cada uma das dimensões é analisada individualmente para verificar sua importância como constructo único no decorrer do trabalho, averiguando também se deve ocorrer a remoção de algum indicador para aumentar a integridade da ferramenta de pesquisa.

- Dimensão: PBL

O total de fatores extraídos pelo método ACP para a dimensão PBL são apresentados na Tabela 20, juntamente com seus respectivos valores de variância explicada.

Tabela 20 - ACP da dimensão PBL.

<b>Fator</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Variância Explicada (%)</b>	<b>Variância Cumulativa (%)</b>
1	2,549	50,984	50,984
2	0,876	17,524	68,509
3	0,651	13,011	81,520
4	0,570	11,402	92,922
5	0,354	7,078	100,000

Fonte: dados da pesquisa.

Pela Tabela 20 foi possível verificar que a dimensão PBL pode ser explicada por só um fator, não havendo a necessidade de divisão. Por este motivo, também não houve necessidade de rotação dos componentes.

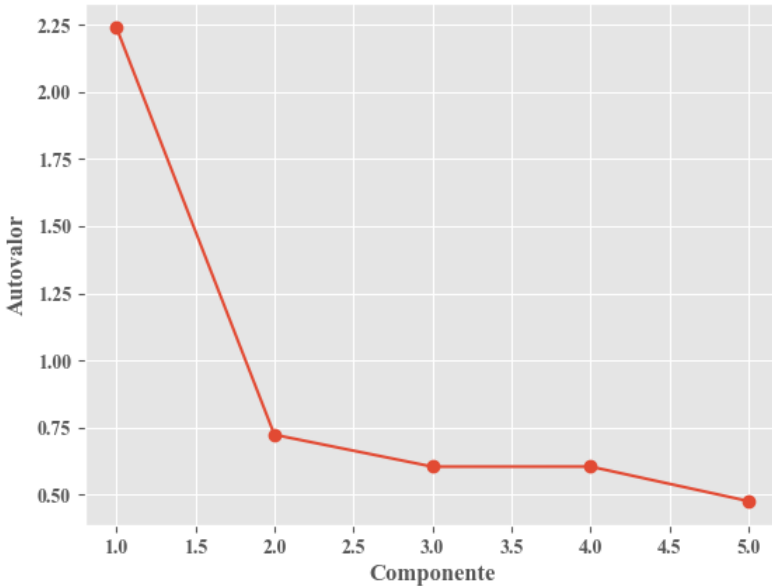
Todavia, conforme comentado no mirante teórico deste trabalho, para escolha do número de fatores existem métodos mais sofisticados, tais como a Análise Paralela, conforme apresentado na Figura 53, que por

meio de uma simulação de Monte Carlo<sup>86</sup> apresenta um *scree plot*<sup>87</sup> modificado. O resultado da Análise Paralela retorna uma sugestão de um único fator, confirmando a ACP.

No próximo passo verifica-se a matriz de correlação entre as variáveis, o que torna possível averiguar se as variáveis apresentam entre si alto índice de correlação, o que pode indicar a existência de possíveis dimensões nos dados coletados. Para o cálculo das correlações internas (Pearson), sejam  $a$  e  $b$  duas variáveis, a correlação de Pearson pode ser calculada como em (138).

$$cor = \frac{cov(a,b)}{\sqrt{var(a).var(b)}} \quad (138)$$

Figura 53 - Análise Paralela da dimensão PBL.



Fonte: dados da pesquisa.

<sup>86</sup> Para as Análises Paralelas efetuadas durante a averiguação de unidimensionalidade foram realizadas 5000 simulações.

<sup>87</sup> A análise de um *scree plot* é visual, e consiste em averiguar o número de componentes (eixo das abscissas) que explicam a maior parte da variabilidade (eixo da ordenadas). Conforme o aumento do número de componentes deixa de ser relevante para a variabilidade do sistema, eles são tipicamente rejeitados.



A matriz de correlações da dimensão PBL é apresentada na Tabela 21.

Tabela 21 - Matriz de correlação da dimensão PBL.

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
<b>P1</b>	1,000				
<b>P2</b>	0,590	1,000			
<b>P3</b>	0,462	0,361	1,000		
<b>P4</b>	0,394	0,532	0,363	1,000	
<b>P5</b>	0,318	0,294	0,308	0,160	1,000

Fonte: dados da pesquisa.

Recomenda-se que para a manutenção do item dentro da dimensão, sua correlação com os outros deva ser maior que 0,3 (JUNIOR et al., 2005). Os indicadores P2 e P5 tiveram correlações abaixo do esperado, contudo, pela sua correlação adequada com o restante dos indicadores, foi decidido pela sua manutenção.

Para cada uma das dimensões deve ser também analisada a carga fatorial, conforme apresentado Tabela 22. Fatores de 0,4 são usualmente recomendados como padrão de corte para os fatores (MATSUNAGA, 2015), contudo, encontra-se ainda na literatura valores de corte próximos de 0,32 (TABACHNICK; FIDELL; OTHERS, 2001) que é o limiar de representação de 10% da variância compartilhada do fator.

Tabela 22 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão PBL.

<b>Indicador</b>	<b>Carga</b>
P1	0,802
P2	0,808
P3	0,697
P4	0,699
P5	0,529

Fonte: dados da pesquisa.

Todas as cargas fatoriais da PBL se mostraram dentro do aceitável. Além disto, esta dimensão apresentou índice KMO de 0,748 e índice BTS com *p-value* menor que 0,001, sendo considerada suficiente internamente.

- Dimensão: Aprendizado

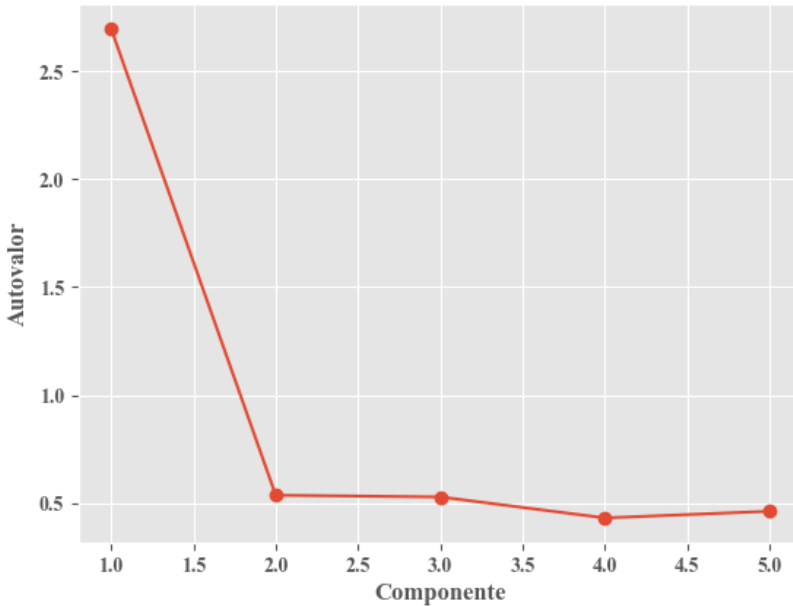
Para a dimensão Aprendizado, o total de componentes extraídos é apresentado na Tabela 23, onde novamente um valor foi suficiente para explicar todo agrupamento de forma satisfatória, confirmado pela Análise Paralela apresentada na Figura 54.

Tabela 23 - ACP da dimensão Aprendizado.

Fator	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Cumulativa (%)
1	3,005	60,100	60,100
2	0,689	13,789	73,889
3	0,573	11,453	85,341
4	0,395	7,898	93,240
5	0,338	6,760	100,000

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 54 - Análise Paralela da dimensão Aprendizado.



Fonte: dados da pesquisa.

As correlações da dimensão são apresentadas na Tabela 24. Neste agrupamento todos os itens tiveram correlação acima de 0,3, consideradas

aceitáveis. A Tabela 25 apresenta as cargas fatoriais também relacionadas à dimensão, onde todas se mostraram acima do esperado (0.4).

Tabela 24 - Matriz de correlação da dimensão Aprendizado.

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1,000				
C2	0,408	1,000			
C3	0,488	0,418	1,000		
C4	0,439	0,362	0,627	1,000	0,586
C5	0,501	0,488	0,650	0,586	1,000

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 25 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão Aprendizado.

Indicador	Carga
C1	0,723
C2	0,670
C3	0,836
C4	0,787
C5	0,845

Fonte: dados da pesquisa.

Para o Aprendizado, o índice KMO foi de 0,839 apresentando também índice BTS menor que 0,001.

- Dimensão: Cooperação

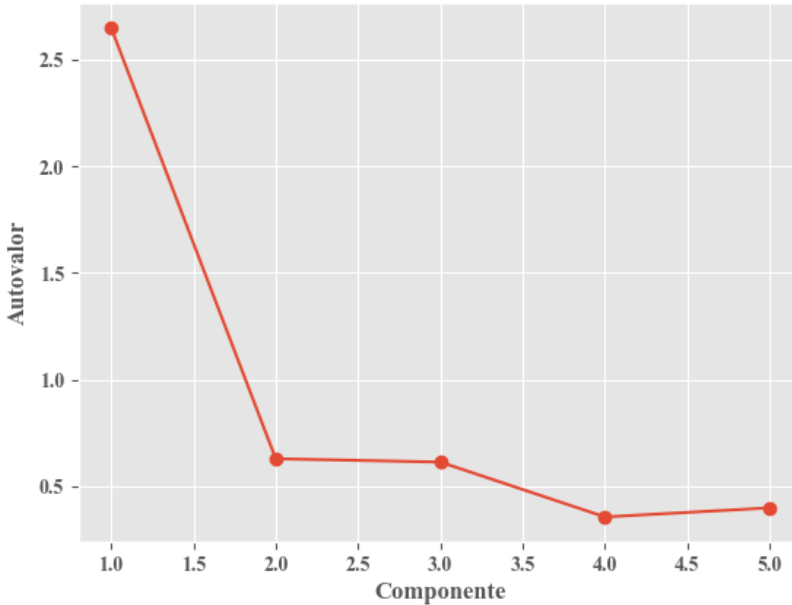
A Tabela 26 apresenta o total de fatores extraídos para a dimensão Cooperação, mostrando que um fator é novamente suficiente para explicar a maior parte do agrupamento, confirmado pela Análise Paralela (Figura 55).

Tabela 26 - ACP da dimensão Cooperação.

Fator	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Cumulativa (%)
1	2,959	59,182	59,182
2	0,783	15,655	74,838
3	0,660	13,201	88,039
4	0,323	6,462	94,501
5	0,275	5,499	100,000

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 55 - Análise Paralela da dimensão Cooperação.



Fonte: dados da pesquisa.

A matriz de correlação desta dimensão é apresentada na Tabela 27, enquanto a Tabela 28 apresenta as cargas fatoriais da mesma. Os índices esperados nas duas tabelas se mostraram acima do aceitável.

Tabela 27 - Matriz de correlação da dimensão Cooperação.

	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>
<b>G1</b>	1,000				
<b>G2</b>	0,464	1,000			
<b>G3</b>	0,638	0,327	1,000		
<b>G4</b>	0,442	0,490	0,512	1,000	
<b>G5</b>	0,398	0,431	0,460	0,714	1,000

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 28 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão Cooperação.

<b>Indicador</b>	<b>Carga</b>
G1	0,761
G2	0,690
G3	0,766
G4	0,832
G5	0,790

Fonte: dados da pesquisa.

Para a Cooperação, o índice KMO calculado foi de 0,753, mantendo também um índice de significância no teste BTS menor que 0,001.

- Dimensão: Autoestima

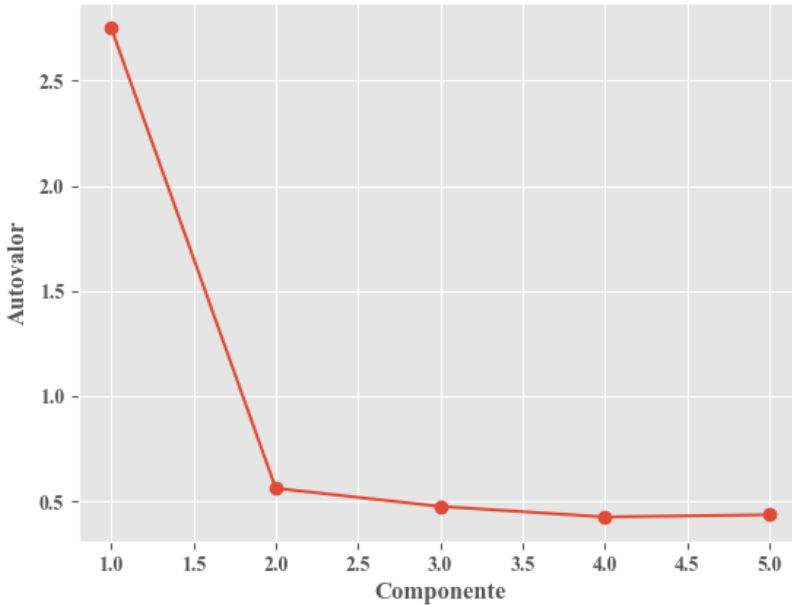
Os componentes extraídos e suas respectivas variâncias para a dimensão Autoestima são apresentados na Tabela 29, enquanto a Análise Paralela é apresentada na Figura 56.

Tabela 29 - ACP da dimensão Autoestima.

<b>Fator</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Variância Explicada (%)</b>	<b>Variância Cumulativa (%)</b>
1	3,056	61,115	61,115
2	0,716	14,310	75,425
3	0,523	10,455	85,880
4	0,391	7,827	93,707
5	0,315	6,293	100,000

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 56 - Análise Paralela da dimensão Autoestima.



Fonte: dados da pesquisa.

Novamente apenas um fator se mostrou o suficiente, não havendo necessidades de posteriores divisões da dimensão. A Tabela 30 apresenta as correlações da mesma, onde todos os índices ficaram acima do aceitável.

Tabela 30 - Matriz de correlação da dimensão Autoestima.

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>
<b>E1</b>	1,000				
<b>E2</b>	0,599	1,000			
<b>E3</b>	0,492	0,534	1,000		
<b>E4</b>	0,444	0,509	0,470	1,000	
<b>E5</b>	0,440	0,534	0,432	0,677	1,000

Fonte: dados da pesquisa.

Na Tabela 31 são apresentadas as cargas fatoriais calculadas para cada item da Autoestima, onde todos se mantiveram acima de 0,4.

Tabela 31 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão Autoestima.

<b>Indicador</b>	<b>Carga</b>
E1	0,757
E2	0,817
E3	0,742
E4	0,797
E5	0,793

Fonte: dados da pesquisa.

Um índice KMO de 0,813 e uma significância no teste BTS menor que 0,001 foram identificadas na dimensão Autoestima.

- Dimensão: Autorrealização

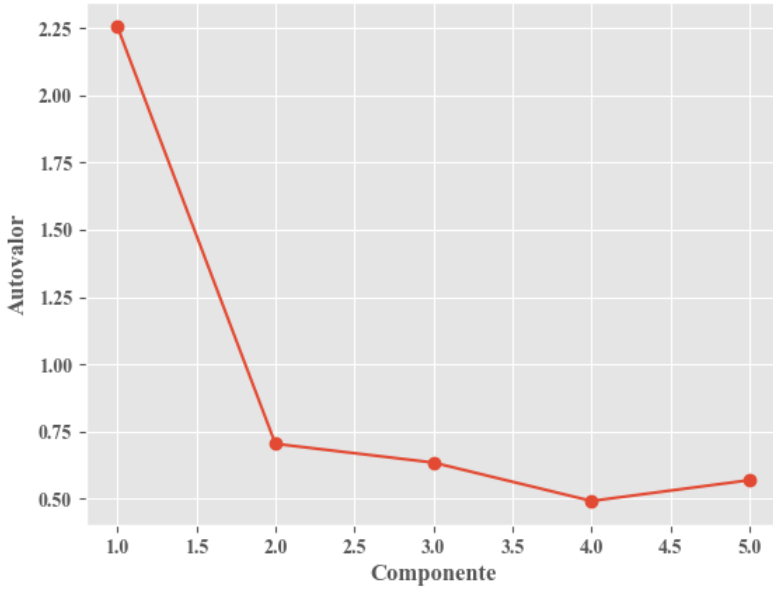
Para a última dimensão retirada da literatura, a Autorrealização, os resultados da ACP são apresentados na Tabela 32, não havendo necessidade de posteriores divisões internas, confirmada pela Análise Paralela (Figura 57).

Tabela 32 - ACP da dimensão Autorrealização.

<b>Fator</b>	<b>Autovalor</b>	<b>Variância Explicada (%)</b>	<b>Variância Cumulativa (%)</b>
1	2,560	51,195	51,195
2	0,856	17,123	68,318
3	0,680	13,590	81,909
4	0,456	9,126	91,034
5	0,448	8,966	100,000

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 57 - Análise Paralela da dimensão Autorrealização.



Fonte: dados da pesquisa.

A matriz de correlações para esta dimensão é apresentada na Tabela 33, com todos os valores acima do aceitável, o mesmo ocorrendo para as cargas fatoriais, apresentadas na Tabela 34.

Tabela 33 - Matriz de correlação da dimensão Autorrealização.

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>
<b>R1</b>	1,000				
<b>R2</b>	0,372	1,000			
<b>R3</b>	0,360	0,504	1,000		
<b>R4</b>	0,309	0,274	0,425	1,000	
<b>R5</b>	0,366	0,292	0,435	0,545	1,000

Fonte: dados da pesquisa.



Tabela 34 - Cargas fatoriais da ACP para a dimensão Autorrealização.

	<b>Carga</b>
R1	0,657
R2	0,673
R3	0,774
R4	0,720
R5	0,747

Fonte: dados da pesquisa.

Para a última dimensão foram calculados valores do índice KMO de 0,761 e índice de significância BTS menor que 0,001.

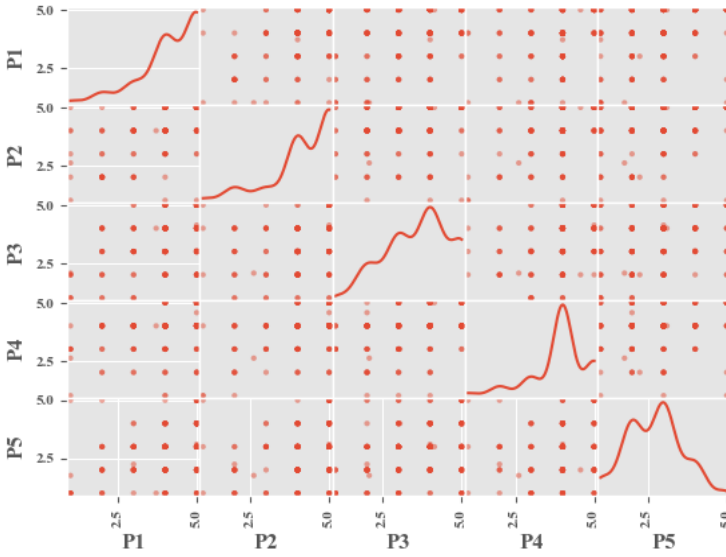
Pela análise individual das dimensões, optou-se pela manutenção de todos os indicadores previamente estipulados na literatura.

Finalizando a exploração dos dados, foram gerados gráficos para uma cada uma das cinco dimensões, em que na diagonal principal apresenta-se o histograma<sup>88</sup> de cada indicador, e nos quadrados adjacentes o *scatter plot* de cada um dos indicadores gerenciados dois a dois, com o objetivo de expor a relação entre as variáveis. O *scatter matrix plot* da dimensão PBL, Aprendizado, Cooperação, Autoestima e Autorrealização são respectivamente apresentados na Figura 58, Figura 59, Figura 60, Figura 61 e Figura 62.

---

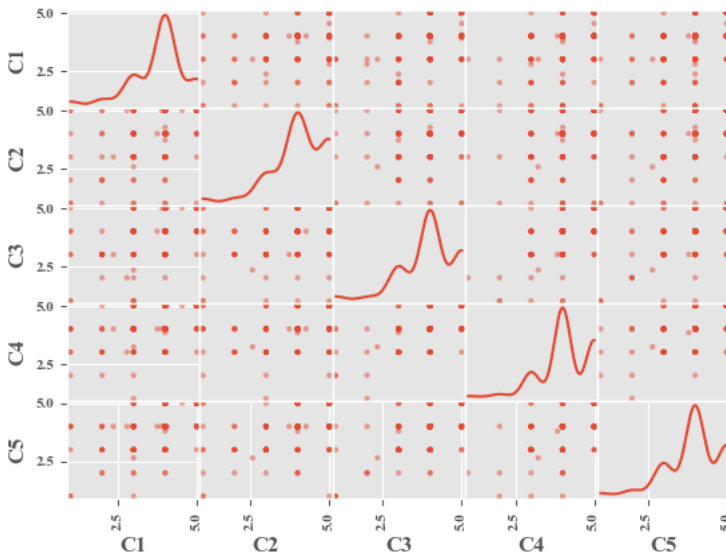
<sup>88</sup> A partir da observação dos histogramas pode-se observar graficamente a não normalidade dos dados.

Figura 58 - ScatterPlot da dimensão PBL.



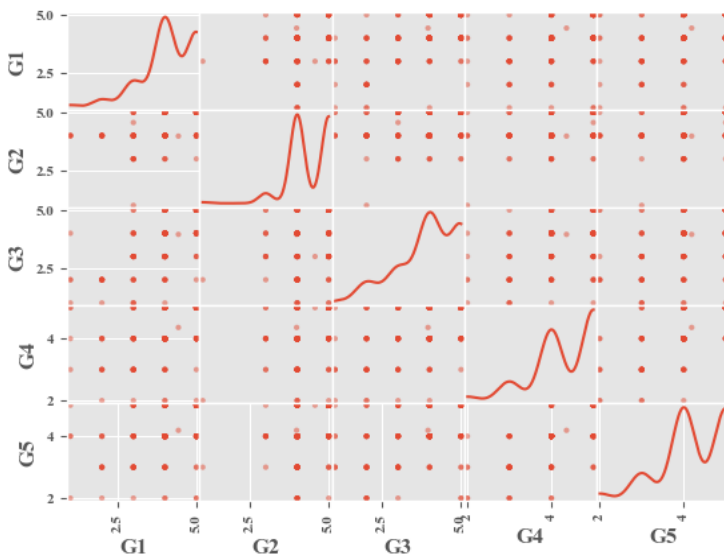
Fonte: dados da pesquisa.

Figura 59 - ScatterPlot da dimensão Aprendizado.



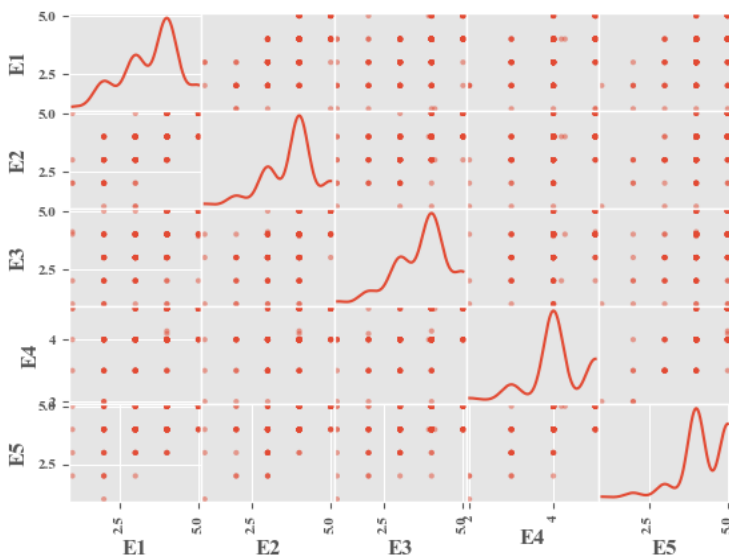
Fonte: dados da pesquisa.

Figura 60 - ScatterPlot da dimensão Cooperação.



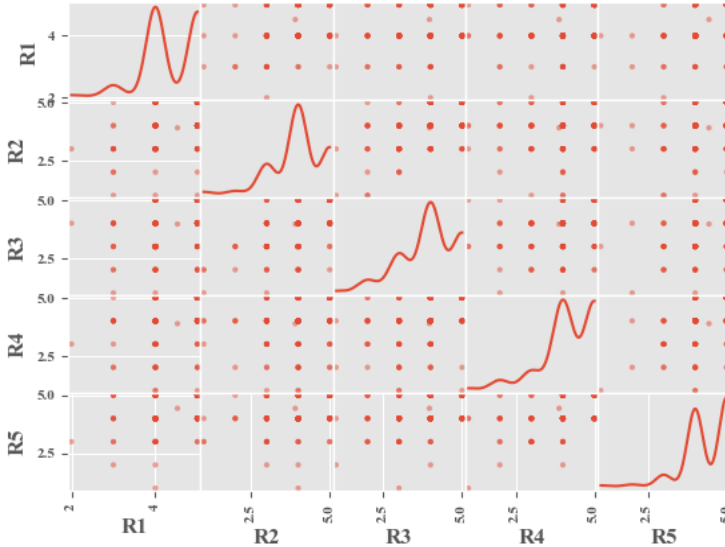
Fonte: dados da pesquisa.

Figura 61 - ScatterPlot da dimensão Autoestima.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 62 - ScatterPlot da dimensão Autorrealização.



Fonte: dados da pesquisa.

### 5.2.3 Modelagem de Equações Estruturais<sup>89 90 91</sup>

Para confirmar a sugestão de como se dá o processo educacional da PBL com base no questionário é necessário realizar a validação do mesmo e a modelagem das equações estruturais referentes ao modelo. A sugestão da existência de constructos de segunda ordem implica que a validação dos indicadores deve ser feita tanto para as dimensões principais quanto para as que as contém.

Durante a Modelagem de Equações Estruturais o procedimento utilizado para obter os pesos internos foi o “*path scheme*”<sup>92</sup>, que estima as variáveis latentes utilizando correlações ou regressões (dependendo se

<sup>89</sup> Para a Modelagem de Equações Estruturais por meio do PLS-PM foi desenvolvida uma biblioteca em Python, intitulada PyPLS-PM (*Partial Least Squares Path Modeling in Python*).

<sup>90</sup> Para o tratamento dos dados faltantes, foi utilizado o método não-paramétrico baseado no algoritmo randomForest (STEKHOVEN; BUHLMANN, 2012).

<sup>91</sup> Implementação disponível no arquivo **pylspm.py**.

<sup>92</sup> Os possíveis tipos de estimação dos pesos internos foram apresentados no Capítulo 3.

a variável medida é causada ou se é a causa de uma segunda variável latente), tido na literatura como um dos mais adequados atualmente para modelagens de equações estruturais com estimação PLS por ser o único que considera a direção das relações (BECKER; KLEIN; WETZELS, 2012; CHIN; DIBBERN, 2010; HENSELER, 2010; RINGLE; WENDE; BECKER, 2015).

### 5.2.3.1 Redução do Constructo de Segunda Ordem

Para a análise dos constructos de segunda ordem utilizou-se uma abordagem conhecida como “*Two-Stages*”<sup>93</sup> modificada conforme proposta por Cataldo (2016). Na versão precursora da técnica de Cataldo (2016), sugerida por Sanchez (2013), as componentes principais de cada um dos constructos de primeira ordem eram estimadas e utilizadas como um indicador único no constructo de segunda ordem. Este tipo de análise é especialmente indicada quando a quantidade de manifestos nos indicadores que constituem a variável latente de segunda ordem são desbalanceados (BECKER; KLEIN; WETZELS, 2012; CATALDO, 2016; SANCHEZ, 2013).

No modelo alternativo proposto por Cataldo (2016), como forma de aumentar a explicação representada pelos constructos de primeira ordem, as componentes principais são substituídas pelos escores de uma regressão PLS<sup>2</sup><sup>94</sup>, doravante definida por PLS-R<sup>95</sup> <sup>96</sup>. O modelo geral da PLS-R é definido como em (139).

---

<sup>93</sup> Foram feitos testes utilizando também outra técnica apresentada na literatura, que consiste em repetir todos os manifestos dos constructos de primeira ordem como manifestos dos constructos de segunda ordem. Utilizando o modo B para o constructo de segunda ordem como sugerido na literatura (BECKER; KLEIN; WETZELS, 2012) não foram encontradas diferenças significativas para o método aqui nesta tese utilizado, mesmo com o número de manifestos diferentes presentes nos constructos de primeira ordem.

<sup>94</sup> A regressão PLS2 é utilizada no caso da presença de mais de uma variável de resposta, enquanto a regressão PLS1 é definida quando existe apenas uma variável de resposta (CATALDO, 2016),

<sup>95</sup> A não ser confundida com a PLS-PM, a regressão PLS-R tem outros rumos históricos. Enquanto a PLS-PM teve início com Herman Wold nos idos de 1970, a PLS-R foi um desdobramento do modelo popularizado pelo seu próprio filho Svante Wold com intuítos iniciais de aplicação em dados de análises químicas (SANCHEZ, 2013).

<sup>96</sup> Para maiores informações e o modelo completo da PLS recomenda-se a leitura de Geladi e Kowalski (1986).

$$\begin{aligned} P_V &= T_H P_H' + E_H \\ R_V &= U_H Q_H' + F_H \end{aligned} \quad (139)$$

Onde  $P_V$  é a matriz dos preditores, e  $R_V$  é a matriz das respostas, sendo  $T$  e  $U$  respectivamente as matrizes dos escores dos componentes de  $P_V$  e  $R_V$ .  $P$  e  $Q$  são as matrizes com as cargas fatoriais e  $E$  e  $F$  representam os erros.

A PLS-R ocorre pela combinação linear das variáveis preditoras (variáveis do constructo de primeira ordem), conforme apresentado em (140). Essa é uma equação de regressão de  $H$  componentes são expressas como uma função dos componentes da PLS.

$$R_V = t_1 p_1' + t_2 p_2' + t_H p_H' + E_H = T_H P_H' + E_H \quad (140)$$

Cada  $t_H$  é calculado como em (141), sendo  $w_H$  o peso atual estimado do fator.

$$t_H = E_{(H-1)} w_H \quad (141)$$

Para um modelo com  $H$  componentes, a matriz  $T_H$  – com os escores desejados para utilização no constructo de segunda ordem – pode ser obtida como uma função das variáveis originais. As respostas são obtidas como uma função lineares das variáveis preditoras

$$P_V = T_H P_H' + E_H = X B_H^{PLS} + E_H \quad (142)$$

Sendo  $B_H^{PLS}$  a matriz de coeficiente de uma PLS-R de  $H$  componentes. A escolha da quantidade de componentes da regressão de cada um dos blocos é realizada por meio de um procedimento de validação cruzada, que busca verificar se o incremento de componentes extraídas aumenta a habilidade preditiva do modelo. Na validação cruzada a amostra principal é dividida em  $Sb$  subamostras, por  $Sb$  vezes uma subamostra diferente é retida como validação, enquanto as subamostras remanescentes ( $Sb - 1$ ) são utilizadas para treinamento. Em cada validação, o erro quadrado da predição ( $e_{(-i)r}^2$ ) é estimado. Para cada componente  $H$  do modelo, a Soma dos Erros Quadráticos da Predição (*Prediction Error Sum of Squares* – PRESS) é obtida como em (143).

$$PRESS_{rh} = \sum erro_{(-i)r}^2 \quad (143)$$

O número de componentes  $H$  é incrementado até que se verifique a ocorrência de *overfitting*<sup>97</sup> no sistema, tipicamente PRESS diminui até um certo número de componentes e posteriormente volta a aumentar. Desta forma, para mensurar a contribuição de uma certa componente  $H$  do sistema, o poder preditivo da componente é estimado como (144).

$$Q_h^2 = 1 - \frac{\sum_{r=1}^R PRESS_{rH}}{\sum_{r=1}^R RSS_{r(H-1)}} \quad (144)$$

Com  $RSS_{rH}$  sendo a soma quadrática dos residuais das variáveis de resposta para uma certamente componente  $H$ . Tipicamente valores de  $Q_h^2 > 0.0975$  implicam que o fator será retido (CATALDO, 2016).

A partir da regressão efetuada, o modelo inicial do constructo de segunda ordem apresentado na Figura 63 com a repetição dos indicadores é reduzido ao modelo apresentado em Figura 64, na qual a repetição dos indicadores é abandonada em prol dos escores obtidos pela PLS-R.

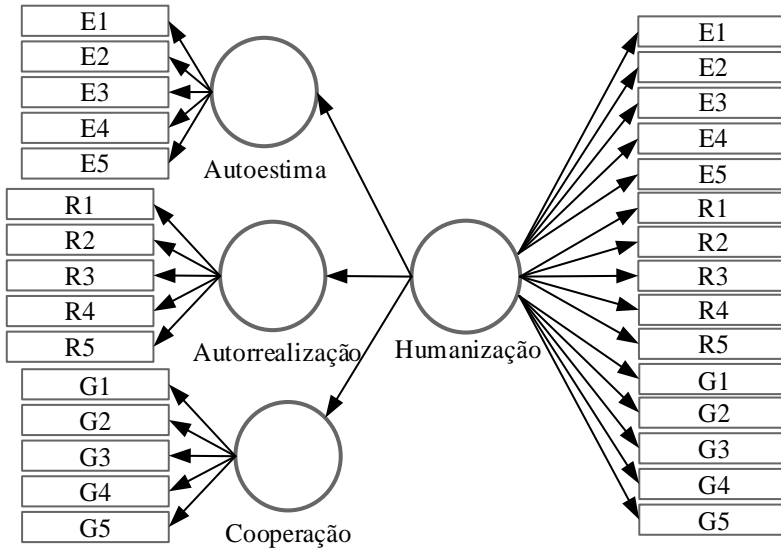
A validação cruzada<sup>98</sup> apontou 3 componentes para o constructo “Autoestima”, 1 componente para o constructo “Autoestima” e 1 componente para o constructo “Autorrealização”.

---

<sup>97</sup> O sobre ajuste ocorre quando o modelo se ajusta em demasiado à amostra, oferecendo alta precisão ao ser testado com o conjunto de dados original, mas não se tornando uma representação adequada da realidade.

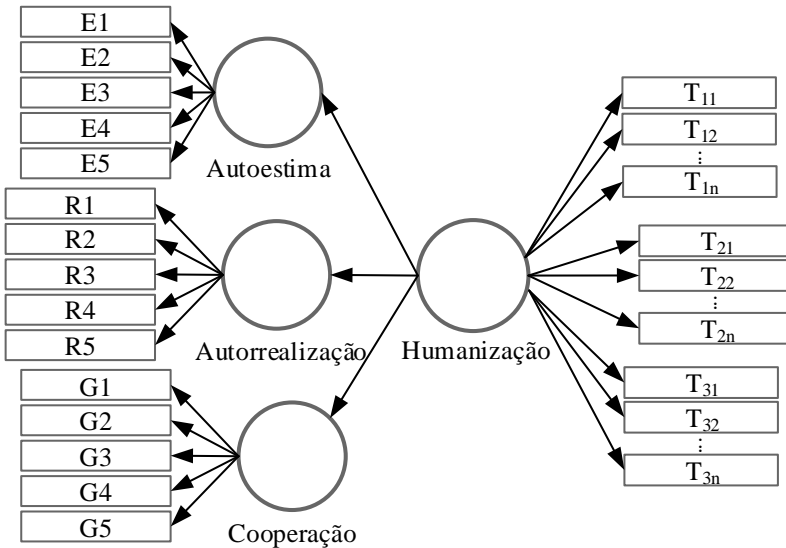
<sup>98</sup> Para a validação cruzada foi utilizada a semente 9002 na geração dos números aleatórios.

Figura 63 - Modelo inicial do constructo de segunda ordem Humanização a partir da repetição dos indicadores.



Fonte: o autor.

Figura 64 - Modelo reduzido do constructo de segunda ordem Humanização a partir da regressão PLS.



Fonte: o autor.



### 5.2.3.2 Indicadores de Confiabilidade

Feitas as considerações a respeito do constructo de segunda ordem, é possível iniciar a verificação da confiabilidade do modelo. Para iniciar o processo são testados os parâmetros indicados na literatura (HAIR et al., 2012; PENG; LAI, 2012; WONG, 2013). O primeiro deles diz respeito ao indicador de confiabilidade, em que a carga elevada ao quadrado de cada indicador ( $\lambda^2$ ) – doravante denominada comunalidade – deve ser maior que 0,4 em estudos de caráter exploratório. A Tabela 35 representa os resultados<sup>99</sup> obtidos.

Tabela 35 - Indicador de confiabilidade.

<b>Indicador</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Carga (<math>\lambda</math>)</b>	<b>Comunalidade (<math>\lambda^2</math>)</b>
P1	PBL	0,799	0,638
P2	PBL	0,807	0,651
P3	PBL	0,694	0,481
P4	PBL	0,72	0,518
P5	PBL	0,509	0,259
C1	Cooperação	0,71	0,504
C2	Cooperação	0,688	0,473
C3	Cooperação	0,832	0,692
C4	Cooperação	0,78	0,609
C5	Cooperação	0,851	0,725
G1	Cooperação	0,763	0,582
G2	Cooperação	0,684	0,468
G3	Cooperação	0,757	0,573
G4	Cooperação	0,831	0,691
G5	Cooperação	0,802	0,643
E1	Autoestima	0,755	0,57
E2	Autoestima	0,825	0,681
E3	Autoestima	0,756	0,571
E4	Autoestima	0,786	0,617
E5	Autoestima	0,785	0,616
R1	Autorrealização	0,657	0,432
R2	Autorrealização	0,65	0,423
R3	Autorrealização	0,764	0,583
R4	Autorrealização	0,74	0,547
R5	Autorrealização	0,757	0,573

Fonte: dados da pesquisa.

<sup>99</sup> Para facilitar a identificação de parâmetros com indicadores abaixo do esperado, durante o decorrer deste capítulo indicadores não satisfatórios serão identificados por uma tonalidade escura de cinza no fundo de suas células.

A partir da análise das comunalidades é possível constatar um manifesto com índice abaixo do recomendado:

- **P5:** Não me senti sobrecarregado com a realização da PBL.

O indicador P5 referente a sobrecarga do estudante com a realização da PBL se mostrou abaixo do esperado, essa baixa representatividade na variância total explicada do constructo pode ser caracterizada pela baixa concordância em relação ao manifesto demonstrada pelos estudantes nas primeiras aplicações.

Decidiu-se pela manutenção do indicador P5 por considerar que, mesmo abaixo do esperado, ele reflete um dos aspectos mais importantes ao se relacionar a aplicação da aprendizagem ativa em cursos não-integrados: a sobrecarga dos estudantes.

### 5.2.3.3 Confiabilidade e Validação da Consistência Interna

Ainda sobre o comportamento interno das dimensões, verifica-se a existência de multicolinearidade nos indicadores, esta análise consiste em verificar se variáveis independentes diferentes possuem relações lineares exatas ou próximas. É recomendável que o valor da VIF (*Variance Inflation Factor*) seja menor do que 5 para que a multicolinearidade não seja considerada severa (WONG, 2013).

Para o cálculo do VIF primeiro realiza-se a regressão linear da variável desejada em função de todas as outras variáveis do modelo. O índice de multicolinearidade é calculado como em (145), com  $R_i^2$  sendo o coeficiente de determinação da variável desejada sendo utilizada como variável dependente.

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (145)$$

A análise da multicolinearidade é calculada e apresentada na Tabela 36, onde todos os índices se mostraram dentro da faixa de valores desejando, sendo menor que o valor de 5 considerado como valor limite na literatura (WONG, 2013).

A próxima etapa consiste na checagem da consistência interna, em que se espera que a confiabilidade composta de cada dimensão seja maior que 0,6 e que o alfa de Cronbach seja maior que 0,7. A confiabilidade composta tem sido declarada na literatura como um fator mais con-

fiável do que o alfa de Cronbach, para efeitos de comparação, neste trabalho os dois fatores serão utilizados, além do índice  $\rho_A$  recentemente proposto na literatura como uma forma de estimar a confiabilidade por meio dos pesos fatoriais (CHIN, 1998; CHIN; DIBBERN, 2010; DIJKSTRA; HENSELER, 2015).

Tabela 36 – Verificação de multicolinearidade.

<b>Indicador</b>	<b>VIF</b>
P1	2,393
P2	2,479
P3	1,625
P4	2,320
P5	1,410
C1	1,880
C2	1,874
C3	2,666
C4	2,196
C5	2,913
G1	2,475
G2	1,849
G3	2,164
G4	2,718
G5	2,700
E1	2,061
E2	2,585
E3	2,275
E4	2,441
E5	2,495
R1	1,647
R2	1,787
R3	2,131
R4	2,147
R5	1,983

Fonte: dados da pesquisa.

A confiabilidade composta de uma dimensão relaciona as cargas fatoriais dos indicadores nela contidos com a variância do erro dos indicadores, conforme (146).

$$CR = \frac{(\sum \lambda_i)^2}{(\sum \lambda_i)^2 + (\sum (1 - \lambda_i^2))^2} \quad (146)$$

O cálculo do alfa de Cronbach<sup>100</sup> é realizado a partir da variância dos itens individuais e da soma dos itens do questionário que possuam o mesmo peso. O coeficiente é definido em (147), sendo  $\text{var}(X)$  a variância total e  $\text{var}(x_i)$  a variância da amostragem atual.

$$CA = \frac{K}{K-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^K \text{var}(x_i)}{\text{var}(X)}\right) \quad (147)$$

Para o cálculo de  $\rho_A$  – recentemente proposto na literatura como uma alternativa à confiabilidade composta e ao alfa de Cronbach específica para uso na PLS-PM –, o coeficiente pode ser definido como (148), sendo  $\text{cov}_A$  a matriz de covariância empírica dos indicadores da variável latente e  $\hat{w}$  é o vetor dos pesos relacionados à variável latente. Diferente das confiabilidades anteriores, o  $\rho_A$  utiliza os pesos fatoriais para estimar seu coeficiente, o que segundo os autores o torna mais confiável pois as cargas estimadas pela PLS podem ser enviesadas caso a população pesquisada não se enquadre nos parâmetros do método estatístico (DIJKSTRA; HENSELER, 2015).

$$\rho_A = (w'w)^2 \frac{w'(\text{cov}_A - \text{diag}(\text{cov}_A))w}{w(ww' - \text{diag}(ww'))w} \quad (148)$$

A Tabela 37 apresenta os valores da confiabilidade composta, alfa de Cronbach e  $\rho_A$  para cada uma das dimensões, em que todos os constructos exibiram índices aceitáveis nas três escalas.

<sup>100</sup> Quanto ao coeficiente  $\alpha$  as seguintes considerações devem ser feitas:  $\alpha \geq 0.9$  considerado excelente;  $0.7 \leq \alpha < 0.9$  considerado bom;  $0.6 \leq \alpha < 0.7$  considerado aceitável;  $0.5 \leq \alpha < 0.6$  considerado pobre;  $\alpha < 0,5$  considerado não aceitável (CRONBACH, 1951).

Tabela 37 - Confiabilidade da consistência interna.

<b>Dimensão</b>	<b>Alfa de Cronbach</b>	<b>Confiabilidade Composta</b>	$\rho_A$
Humanização	-	0,868 <sup>101</sup>	-
PBL	0,753	0,839	0,78
Autorrealização	0,76	0,842	0,771
Cooperação	0,826	0,881	0,839
Autoestima	0,841	0,89	0,848
Aprendizado	0,832	0,885	0,846

Fonte: dados da pesquisa.

### 5.2.3.4 Validação Convergente

O próximo passo se dá com a checagem da validação convergente do questionário, em que a variância média extraída de cada dimensão deve estar acima de 0,5. A variância média extraída é calculada como a média entre as comunalidades dos indicadores de uma variável latente, conforme (149) para um constructo com  $J$  indicadores (HAIR et al., 2012).

$$AVE(LV_i) = \frac{1}{K_j} \sum_{k=1}^{K_j} \lambda_{jk}^2 \quad (149)$$

A Tabela 38 apresenta os valores da variância média extraída de cada uma das dimensões, onde todos os valores se mantiveram acima do mínimo esperado de 0,5.

Tabela 38 - Validação convergente.

<b>Dimensão</b>	<b>Variância Média Extraída</b>
Humanização	0.688 <sup>102</sup>
PBL	0.509
Autorrealização	0.511
Cooperação	0.591
Autoestima	0.611
Aprendizado	0.6

Fonte: dados da pesquisa.

<sup>101</sup> A confiabilidade composta da dimensão de segunda ordem Humanização é calculada considerando os coeficientes de caminho entre ela e suas dimensões de primeira ordem como cargas fatoriais.

<sup>102</sup> Idem à <sup>101</sup>.

### 5.2.3.5 Validação Discriminante

Por último a validação discriminante é feita, buscando mensurar se a variável medida em questão não está indevidamente relacionada com indicadores de dimensões distintas.

Para isso verifica-se se a variância média extraída de cada variável latente é maior que o quadrado da correlação entre as variáveis latentes. Na Tabela 39 os números em negrito e sublinhados (diagonal principal) correspondem à variância média extraída das variáveis latentes, enquanto os números de mesma linha ou coluna são os quadrados das correlações entre as variáveis latentes. Esta validação pode ser definida como em (150) (CHIN; DIBBERN, 2010; HAIR et al., 2012; WONG, 2013).

$$AVE(LV_i) > \max |cor(i, j)|^2, \quad \forall i \neq j \quad (150)$$

Nesta análise serão desconsiderados os constructos de segunda ordem, pois sua característica de englobar as dimensões primárias torna sua correlação com as outras variáveis latentes muito alta devido a repetição dos indicadores (ou dos escores de suas componentes de maior representatividade).

Tabela 39 - Validação discriminante dos constructos de primeira ordem (critério de Fornell-Larcker).

	<b>PBL</b>	<b>Autorrealização</b>	<b>Cooperação</b>	<b>Autoestima</b>	<b>Aprendizado</b>
<b>PBL</b>	<b><u>0.509</u></b>				
<b>Autorrealização</b>	0.451	<b><u>0.511</u></b>			
<b>Cooperação</b>	0.271	0.251	<b><u>0.591</u></b>		
<b>Autoestima</b>	0.423	0.440	0.192	<b><u>0.611</u></b>	
<b>Aprendizado</b>	0.528 <sup>103</sup>	0.466	0.236	0.272	<b><u>0.600</u></b>

Fonte: dados da pesquisa.

<sup>103</sup> A não satisfação do critério de Fornell-Larcker entre a PBL e o Aprendizado se deve à baixa comunalidade do indicador P5, que por consequência impacta no AVE da PBL. É importante salientar que caso o indicador P5 seja removido, o critério é satisfeito.

Percebe-se que a validação discriminante entre as dimensões PBL e Aprendizado não se mostrou dentro do adequado, isso se deve à manutenção do indicador P5 no questionário (de baixa comunalidade), por entender que sua presença é de importância na análise do processo.

Ainda na validação discriminante, é necessário avaliar as cargas cruzadas dos indicadores, testando-se a eficácia dos indicadores de uma dimensão dentro de outras variáveis latentes (HAIR JR et al., 2014). As cargas cruzadas são definidas como a correlação de Pearson entre os manifestos normalizados e os escores das variáveis latentes, conforme retratado em (151).

$$cross\lambda = cor(X, Y) \quad (151)$$

Espera-se que cada indicador apresente maior carga fatorial dentro de sua dimensão de origem, conforme apresentado na Tabela 36.

Tabela 40 - Verificação discriminante (cargas cruzadas).

	PBL	Autorrealização	Cooperação	Autoestima	Aprendizado
P1	<b><u>0,799</u></b>	0,564	0,39	0,53	0,586
P2	<b><u>0,807</u></b>	0,526	0,457	0,457	0,621
P3	<b><u>0,694</u></b>	0,409	0,393	0,446	0,439
P4	<b><u>0,72</u></b>	0,555	0,402	0,514	0,59
P5	<b><u>0,509</u></b>	0,285	0,159	0,356	0,289
C1	0,555	0,435	0,322	0,296	<b><u>0,71</u></b>
C2	0,57	0,497	0,331	0,403	<b><u>0,688</u></b>
C3	0,598	0,55	0,382	0,431	<b><u>0,832</u></b>
C4	0,473	0,516	0,395	0,404	<b><u>0,78</u></b>
C5	0,617	0,623	0,439	0,467	<b><u>0,851</u></b>
G1	0,46	0,434	<b><u>0,763</u></b>	0,327	0,469
G2	0,3	0,314	<b><u>0,684</u></b>	0,265	0,28
G3	0,346	0,32	<b><u>0,757</u></b>	0,281	0,311
G4	0,383	0,379	<b><u>0,831</u></b>	0,351	0,346
G5	0,487	0,458	<b><u>0,802</u></b>	0,438	0,435
E1	0,508	0,427	0,286	<b><u>0,755</u></b>	0,442
E2	0,582	0,593	0,413	<b><u>0,825</u></b>	0,432
E3	0,519	0,563	0,404	<b><u>0,756</u></b>	0,458
E4	0,41	0,5	0,274	<b><u>0,786</u></b>	0,312
E5	0,509	0,491	0,32	<b><u>0,785</u></b>	0,389
R1	0,369	<b><u>0,657</u></b>	0,368	0,436	0,368
R2	0,366	<b><u>0,65</u></b>	0,281	0,361	0,428

R3	0,542	<b>0,764</b>	0,303	0,51	0,516
R4	0,599	<b>0,74</b>	0,444	0,505	0,589
R5	0,492	<b>0,757</b>	0,382	0,538	0,517

Fonte: dados da pesquisa.

Finalizando a validação discriminante, analisa-se o índice de correlação Heterotrait-Monotrait (HTMT) que tem ganho visibilidade na análise dos questionários analisados por meio de PLS (HENSELER; RINGLE; SARSTEDT, 2015; VOORHEES et al., 2016). Dadas duas variáveis latentes de índices  $i$  e  $j$ , tais como  $LV_i$  e  $LV_j$  que possuam respectivamente  $K_i$  e  $K_j$  indicadores, o HTMT entre os constructos pode ser calculado conforme (152).

$$HTMT_{ij} = \frac{\frac{1}{K_i K_j} \sum_{g=1}^{K_i} \sum_{h=1}^{K_j} cor_{i_g, j_h}}{\left( \frac{2}{K_i (K_i - 1)} \cdot \sum_{g=1}^{K_i-1} \sum_{h=g+1}^{K_i} cor_{i_g, j_h} + \frac{2}{K_j (K_j - 1)} \sum_{g=1}^{K_j-1} \sum_{h=g+1}^{K_j} cor_{i_g, j_h} \right)} \tag{152}$$

A matriz é apresentada na Tabela 41, em que aconselha-se que o maior índice aceitável seja HTMT<sup>90</sup>, ou seja, os valores devem apresentar índices menores que 0,9.

Tabela 41 - Validação discriminante dos constructos de primeira ordem (HTMT).

	PBL	Autorrealização	Cooperação	Autoestima
Autorrealização	0,862			
Cooperação	0,635	0,622		
Autoestima	0,813	0,818	0,514	
Aprendizado	0,902	0,846	0,576	0,618

Fonte: dados da pesquisa.

Por fim, embora o critério de Fornell-Larcker tenha se mostrado insuficiente entre as dimensões PBL e Aprendizado (devido à decisão de manutenção do indicador P5), a validação discriminante entre os dois constructos se mostrou suficiente dentro da verificação de cargas cruzadas e do índice HTMT, considerado mais confiável segundo Hair et al., (2017a).



### 5.2.3.6 Resultados do Modelo Estrutural

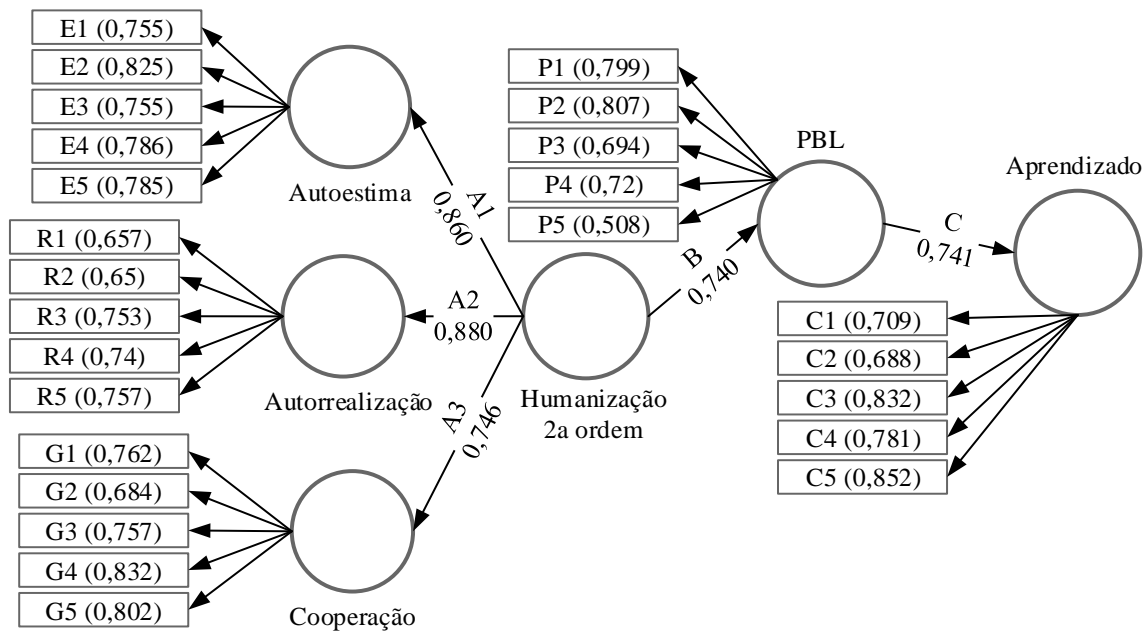
De forma geral, os parâmetros da pesquisa foram considerados adequados dentro do caráter exploratório da pesquisa, e embora a comunalidade do item P5 tenha se mostrado abaixo do esperado, foi optado pela sua manutenção, por ser considerado um indicador importante relacionado ao objeto de tese.

Tendo os parâmetros do questionário sido considerados adequados, é realizada a modelagem das equações estruturais, apresentada na Figura 65, onde deve-se perceber que:

- Dentro dos retângulos, ao lado dos indicadores, são apresentadas as cargas fatoriais de cada questão;
- Os valores apresentados nas setas de ligação entre os círculos (dimensões), são os coeficientes dos caminhos, ou seja, eles demonstram o quanto uma variável latente influencia na outra. Para que essa relação seja significativa ela deve apresentar um valor maior do que 0,2: sendo 0,25 considerada fraca, 0,5 considerada moderada e 0,75 substancial (WONG, 2013);

As direções das setas entre os círculos indicam quais variáveis latentes estão tendo suas influências verificadas umas nas outras.

Figura 65 - Modelo estrutural da PBL.



Fonte: dados da pesquisa.

---

Com o modelo de equações estruturais disponível, são retomadas e discutidas as hipóteses levantadas sobre o papel do projeto integrado no aprendizado:

**Hipótese A1:** A Humanização é um fator comum da Autoestima;

Pode-se confirmar a Humanização como fator comum da Autoestima com um impacto considerado significativo (0,860). A confirmação deste pressuposto se faz importante como comprovação parcial da característica englobadora da humanização.

**Veredito:** Hipótese suportada.

**Hipótese A2:** A Humanização é um fator comum da Autorrealização;

A Humanização também se mostrou válida como fator comum da Autorrealização com um impacto de 0,880. Continua-se então a confirmação da Humanização como dimensão de segunda ordem.

**Veredito:** Hipótese suportada.

**Hipótese A3:** A Humanização é um fator comum da Cooperação;

A Cooperação também demonstrou estar relacionada com a humanização, tendo seu valor de 0,746 considerado estatisticamente significativo, no limiar da moderação.

**Veredito:** Hipótese suportada.

**Hipótese B:** A Humanização influi positivamente na PBL;

O pressuposto de que a humanização influi positivamente na PBL foi comprovada ao final desta análise, tendo o caminho da humanização até o aprendizado um valor considerado significativo de 0,740.

**Veredito:** Hipótese suportada.

**Hipótese C:** A PBL influi positivamente no Aprendizado;

Por fim, a PBL apresentou uma influência de 0,741 no Aprendizado, muito próxima da substancialidade, comprovando também o pressuposto que cita o valor educacional do processo aplicado.

**Veredito:** Hipótese suportada.

Os resultados discutidos são sumarizados na Tabela 42, e foram confirmados por meio de BCa *bootstrapping*, com 500 replicações.

Tabela 42 - Índice geral de influências por pressupostos.

<b>Hipótese</b>	<b>Pressuposto</b>	<b>Influência</b> <sup>104</sup>	<b>t-value</b>
H <sub>A1</sub>	Humanização → Autoestima	0,860	33,43
H <sub>A2</sub>	Humanização → Autorrealização	0,880	48,21
H <sub>A2</sub>	Humanização → Cooperação	0,746	15,39
H <sub>B</sub>	Humanização → PBL	0,740	20,98
H <sub>C</sub>	PBL → Aprendizado	0,741	21,34

Fonte: dados da pesquisa.

Enquanto os efeitos apresentados como coeficiente de caminho são considerados de efeito “direto”, existem ainda os efeitos considerados “indiretos”. Os efeitos indiretos mensuram a influência de um constructo no outro utilizando um caminho indireto daquele sugerido no modelo (SANCHEZ, 2013). No modelo proposto, existe um efeito indireto da Humanização no Aprendizado de 0,555, que tem por intermédio a PBL.

De volta aos coeficientes diretos, e mais usualmente apresentados em análises de PLS-PM, para representar a análise de uma forma simplificada pode-se sugerir a pirâmide (Figura 66) de sustentação da PBL, que apresenta alicerces baseados na humanização (envolta nas competências do século 21) como base para a construção de um aprendizado e a edificação final do projeto.

<sup>104</sup> Todos os valores apresentaram *p-value* < 0,001.

Figura 66 - Pirâmide de sustentação da PBL.



Fonte: dados da pesquisa.

O valor de  $R^2$  é apresentado na Tabela 44.

Tabela 43 – índices  $R^2$  dos pressupostos.

<b>Pressuposto</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b><math>R^2_{ajustado}</math></b>
PBL	0,561	0,559
Autorrealização	0,776	0,775
Cooperação	0,561	0,558
Autoestima	0,732	0,731
Aprendizado	0,531	0,528
PBL	0,561	0,559

Fonte: dados da pesquisa.

O índice  $Q^2$ , calculado pela validação cruzada de redundância, para cada um dos indicadores é apresentado na Tabela 44, enquanto o índice para as variáveis latentes é apresentado na Tabela 45.

Tabela 44 - Índice Q<sup>2</sup> dos indicadores.

Indicador	Q <sup>2</sup>
P1	0,310
P2	0,308
P3	0,215
P4	0,333
P5	0,099
C1	0,290
C2	0,289
C3	0,342
C4	0,186
C5	0,358
G1	0,331
G2	0,203
G3	0,263
G4	0,357
G5	0,418
E1	0,369
E2	0,546
E3	0,456
E4	0,369
E5	0,412
R1	0,291
R2	0,251
R3	0,385
R4	0,427
R5	0,423

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 45 - Índice Q<sup>2</sup> das variáveis latentes.

Indicador	Q <sup>2</sup>
Humanização	0.371
PBL	0.243
Autorrealização	0.363
Cooperação	0.314
Autoestima	0.434
Aprendizado	0.298

Fonte: dados da pesquisa.

A estimação apresentada sugere um poder preditivo no modelo proposto, onde  $Q^2$  é maior que zero tanto nos indicadores quanto nas variáveis latentes.

Já o índice  $f^2$ , referente ao tamanho de efeito, não foi calculado, pois só é aplicado se uma variável latente possuir mais de uma influência, do contrário não é possível criar um modelo auxiliar. Sendo Humanização uma variável latente de segunda ordem e PBL e Aprendizado sofrendo influência de apenas uma  $LV$  cada, o fator  $f^2$  não se aplica ao modelo proposto.

A adequação do modelo<sup>105</sup>, pelo parâmetro SRMR – apesar da ainda controversa mensuração, tido como o mais adequado pela literatura atual até que testes mais extensivos sejam efetuados (HAIR JR et al., 2014; HENSELER et al., 2014) – foi de 0,097, ficando dentro dos critérios estabelecidos de conformidade.

Após a análise dos resultados é possível compreender a conexão da Humanização com o Aprendizado, quando intermediados por uma metodologia de aprendizagem ativa. Deste modo, relaciona-se a evolução dos estudantes em Eletrônica de Potência e em Controle e Servomecanismos com uma metodologia capaz de conciliar tanto os aspectos técnicos quanto os humanistas, formando uma educação mais significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), que leva em conta tanto as necessidades cartesianas da engenharia quanto o sentimento dos estudantes (CHU; LU; SATHIAKUMAR, 2008; DUDERSTADT, 2010; MORIN, 2001).

#### 5.2.3.7 Coeficientes de Caminho *quasi*-Possibilísticos<sup>106</sup>

Conforme apresentado na Figura 67 os dados levantamento nas aplicações possuem *outliers*<sup>107</sup> que devem ser desconsiderados na proposição de um modelo da aprendizagem ativa na Engenharia Elétrica.

Deste modo, é proposto o uso de regressões possibilísticas para levar em conta as difusidades (*fuzziness*) da condição humana como forma de considerar as incertezas presentes no modelo. Para tanto, foi utilizado o algoritmo TSqQP-PLS-PM discutido no Capítulo 3 para realizar uma nova estimação dos coeficientes de caminho.

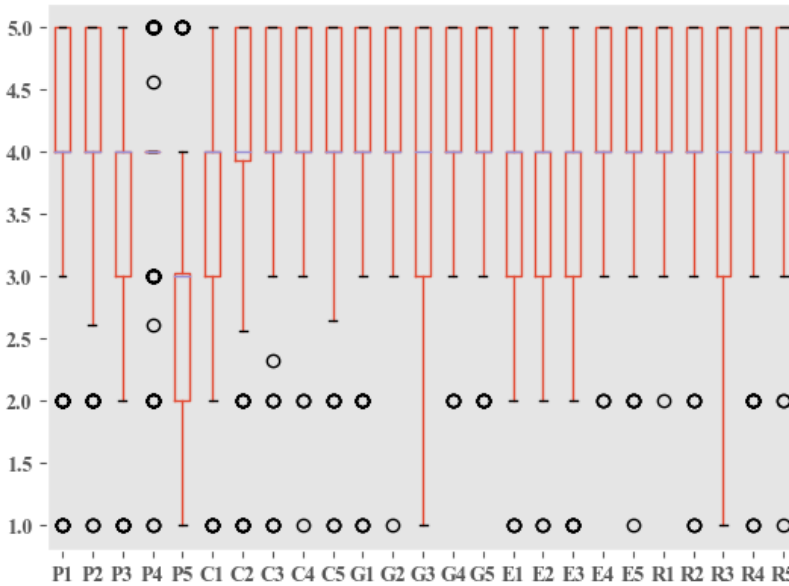
---

<sup>105</sup> Mesmo não sendo plenamente aceito na literatura, por uma questão de tradicionalismo, indica-se que o GoF do modelo apresentado neste trabalho foi de 0,605.

<sup>106</sup> Foi utilizado um fator  $h = 0$  pois os dados coletados foram considerados suficientes conforme mostrado no subcapítulo 6.2.6.

<sup>107</sup> Valores atípicos que apresentam grande afastamento dos demais.

Figura 67 - Diagrama de extremos e quartis dos manifestos.



Fonte: dados da pesquisa.

Feitas essas considerações, os novos coeficientes de caminhos apresentando a faixa de valores possíveis quando considerados os *outliers* são apresentados na Tabela 46. Para tanto foi novamente realizado um *BCa bootstrapping* de 500 replicações. Na análise os índices de confiabilidade relacionados a regressão *fuzzy* também foram satisfeitos.

Tabela 46 - Coeficientes de caminho com interpretação dos coeficientes *fuzzy*.

Hipótese	Pressuposto	Influência <sup>108</sup>	IC
H <sub>A1</sub>	Humanização → Autoestima	0.853 à 0.869	0,853
H <sub>A2</sub>	Humanização → Autorrealização	0.870 à 0.882	0,902
H <sub>A2</sub>	Humanização → Cooperação	0.746 à 0.769	0,898
H <sub>B</sub>	Humanização → PBL	0.743 à 0.763	0.913
H <sub>C</sub>	PBL → Aprendizado	0.734 à 0.772	0.854

Fonte: dados da pesquisa.

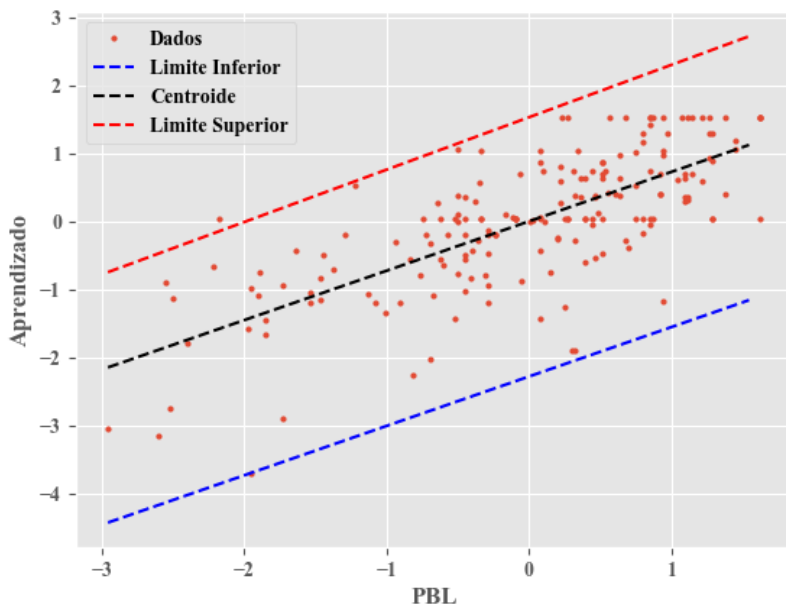
<sup>108</sup> Todos os valores apresentaram *p-value* < 0,001.



Para uma melhor compreensão das considerações das novas projeções de caminho, a Figura 68 ilustra o significado dos limites inferior, superior e da tendência central por meio da regressão entre Aprendizado e PBL.

A tendência central é a mesma do algoritmo tradicional da PLS-PM, e consiste na regressão simples entre os pontos. Os limites inferior e superior são linhas de tendência que sugerem quais seriam os coeficientes de caminho (nova inclinação da reta) se os *outliers* superiores e inferiores fossem os que melhor representassem o modelo.

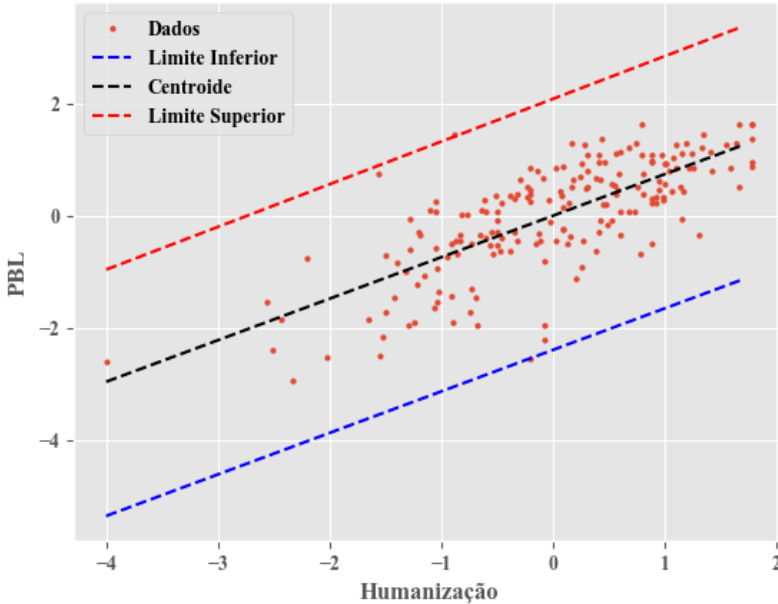
Figura 68 - Regressão entre Aprendizado e PBL para limite inferior, tendência central e limite superior.



Fonte: dados da pesquisa.

O mesmo pode ser inferido a partir dos limites inferior e superior da relação entre PBL e Humanização, conforme apresentado na Figura 69.

Figura 69 - Regressão entre Humanização e PBL para limite inferior, tendência central e limite superior.



Fonte: dados da pesquisa.

Com base na Figura 68 e na Figura 69, nota-se que as relações deixam de ser representados pela equação (153) e passam a ser representados pela equação (154), considerando-se os intervalos em que a relação acontece.

$$\begin{aligned}
 \text{Aprendizado} &= \beta_1 \text{PBL} \\
 \text{PBL} &= \beta_2 \text{Humanização}
 \end{aligned}
 \tag{153}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Aprendizado} &= \{\beta_{1low\_intercept}; \beta_{1high\_intercept}\} + \{\beta_{1low}; \beta_{1high}\} \text{PBL} \\
 \text{PBL} &= \{\beta_{2low\_intercept}; \beta_{2high\_intercept}\} + \{\beta_{2low}; \beta_{2high}\} \text{Humanização}
 \end{aligned}
 \tag{154}$$

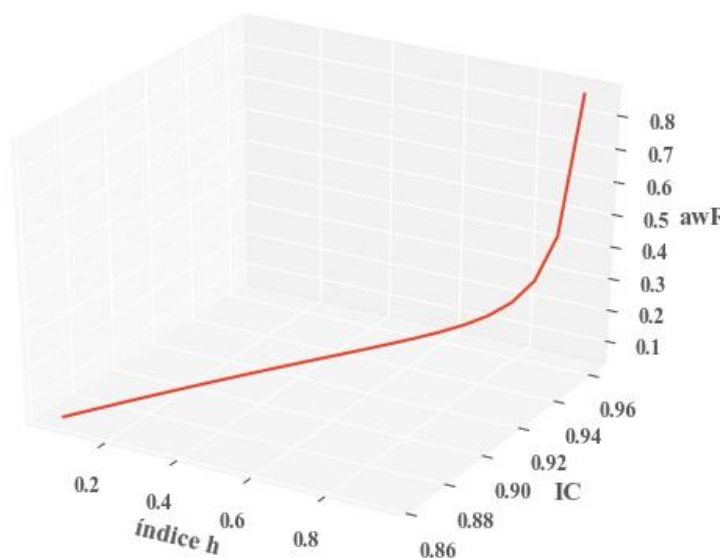
Embora o fator  $h = 0$  tenha sido utilizado e os índices de confiabilidade das regressões considerado adequado, a Figura 70 apresenta a variação no índice de confiabilidade e no limite superior para a regressão

envolvendo a PBL e o Aprendizado devido à mudanças no fator  $h$ . Enquanto a Figura 71 apresenta os resultados da regressão entre PBL e Humanização submetidos a diferentes índices  $h$ .

Pode-se perceber que embora o limite superior<sup>109</sup> sofra grandes variações, o pequeno ganho no índice de confiabilidade não justifica o aumento do índice  $h$ .

Por fim, os resultados dos coeficientes de caminho *quasi*-possibilísticos não alteram o modelo da pirâmide proposta anteriormente na Figura 66, mas sim buscam estabelecer margens superior e inferior na interpretação dos resultados, adicionando as incertezas da condição humana no modelo objeto de tese.

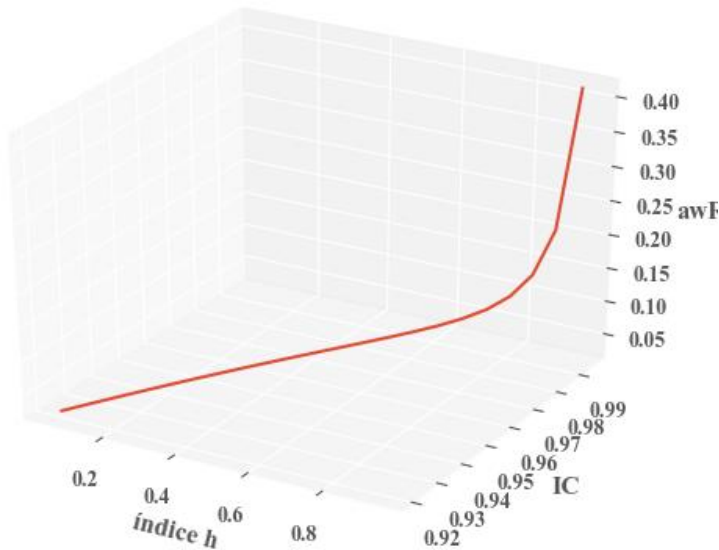
Figura 70 - Variação nos índices de confiabilidade da regressão envolvendo PBL e Aprendizado devido à mudanças no índice  $h$ .



Fonte: dados da pesquisa.

<sup>109</sup> Análises foram apresentadas para o limite superior pois as variações no limite inferior são insignificantes.

Figura 71 - Variação nos índices de confiabilidade da regressão envolvendo PBL e Humanização devido à mudanças no índice h.



Fonte: dados da pesquisa.

### 5.2.4 Importance-Performance Map

A análise por meio de *importance-performance maps* (IPMA) é útil para estender os resultados discriminados na análise de caminhos, levando também em conta o efeito total das variáveis latentes no constructo analisado, mesmo que elas não possuam conexão direta. Dessa forma, pode-se identificar os constructos que são mais importantes na explicação de um constructo escolhido (HAIR JR et al., 2014; RINGLE; SARSTEDT, 2016).

Para a análise do IPMA geralmente seleciona-se uma variável latente a ser estudada, para a qual dois tipos de gráficos podem ser gerados: o primeiro contrastando a influência total recebida por ela das outras variáveis latentes (efeitos totais de caminho) com os escores das variáveis latentes padronizados entre 0 e 100; o segundo contrastando o efeito total dos pesos das variáveis na variável alvo do estudo com a média das variáveis latentes padronizadas entre 0 e 100.

Ambas análises são feitas com os dados de entrada na forma não padronizada, tanto os escores das variáveis latentes, como os pesos utilizados para a geração dos gráficos. Já a performance recebe padronização entre 0 e 100 para facilitar a visualização.

Para a padronização de um item, dado um indicador de escala Likert que varie entre 1 e 5, sendo 1 o mínimo possível, e 5 o máximo possível, pode ser calculado como em (155).

$$X_{\text{rescalado}} = \frac{X_i - \min}{\max - \min} 100 \quad (155)$$

Feitas as devidas considerações, o gráfico do IPMA é gerado de modo que o eixo horizontal indica a importância de um item, enquanto o eixo vertical indica a sua performance. Deseja-se que itens de maior importância tenham também uma performance maior na variável latente analisada.

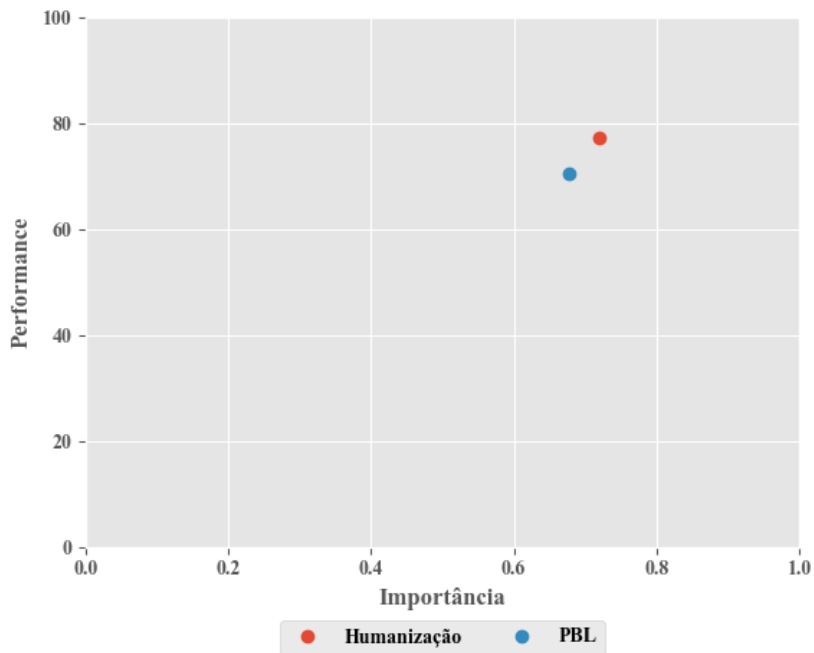
O IPMA tem em seus quatro quadrantes as indicações dos itens que devem receber mais atenção e melhorias na seguinte ordem: quadrante inferior direito, quadrante superior direito, quadrante inferior esquerdo, quadrante superior esquerdo. Utiliza-se o IPMA para guiar o estudo na priorização das variáveis que requerem maior atenção (RINGLE; SARSTEDT, 2016).

Na análise específica desta tese, cabe compreender as variáveis de maior performance e importância ligadas ao Aprendizado. Para tanto, a Figura 72 indica a relação dos outros constructos com a dimensão, enquanto a Figura 73 aponta a relação do Aprendizado com as variáveis observáveis.

Pode-se perceber que tanto a Humanização quanto a PBL desempenham uma alta importância no Aprendizado diante de uma boa performance.

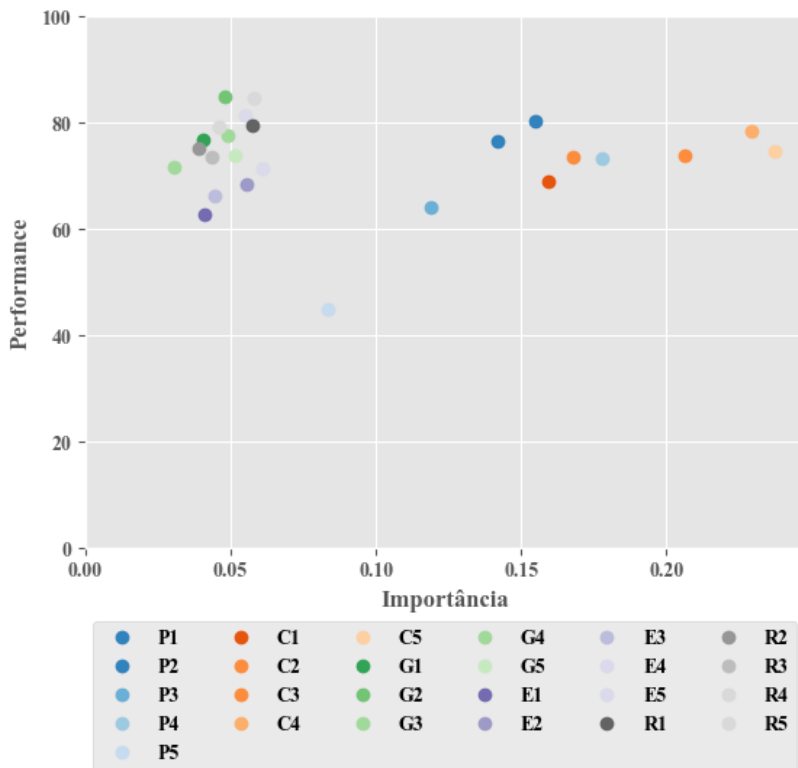
Quanto as variáveis observáveis, percebe-se que dentre os itens C3, C4 e C5, relacionados na melhora individual da busca por conhecimento, foram os que tiveram maior relação de importância e performance no Aprendizado.

Figura 72 - IMPA: Influência dos constructos no Aprendizado.



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 73 - IMPA: Influência dos indicadores no Aprendizado.



Fonte: dados da pesquisa.

### 5.2.5 Heterogeneidades observadas e não-observadas

Como forma de continuidade da exploração dos dados obtidos são verificados possíveis padrões entre os respondentes, sejam eles de uma mesma aplicação do projeto ou não. O objetivo desta análise é comprovar se um modelo global é suficiente para analisar todos os dados.

#### 5.2.5.1 Comparação das aplicações (heterogeneidades observadas)<sup>110</sup>

Para garantir a consistência do projeto aplicado, foi realizado um teste de comparação entre grupos, considerando cada uma das aplicações

<sup>110</sup> Implementação disponível no arquivo `mga.py`.

(2014/2, 2015/1, 2015/2, 2016/1, 2016/2, 2017/1) como um segmento separado para testar as seguintes hipóteses:

- $H_0$ : as populações pesquisadas são significativamente iguais;
- $H_1$ : as populações pesquisadas são significativamente diferentes;

Para estimar se existe ou não diferença significativa entre os grupos, as seguintes considerações são feitas:

- Grupo 1: grupo de dados coletados em 2014/2;
- Grupo 2: grupo de dados coletados em 2015/1;
- Grupo 3: grupo de dados coletados em 2015/2;
- Grupo 4: grupo de dados coletados em 2016/1;
- Grupo 5: grupo de dados coletados em 2016/2;
- Grupo 6: grupo de dados coletados em 2017/1.

Dessa forma, a Tabela 47 relaciona o comparativo entre os grupos de dados e sua significância.

Tabela 47 - Comparação das populações em cada uma das aplicações.

<b>Primeiro Grupo</b>	<b>Segundo Grupo</b>	<b>Diferença com significância 5%?</b>
Grupo 1	Grupo 2	não
Grupo 1	Grupo 3	não
Grupo 1	Grupo 4	não
Grupo 1	Grupo 5	não
Grupo 1	Grupo 6	não
Grupo 2	Grupo 3	não
Grupo 2	Grupo 4	não
Grupo 2	Grupo 5	não
Grupo 2	Grupo 6	não
Grupo 3	Grupo 4	não
Grupo 3	Grupo 5	não
Grupo 3	Grupo 6	não
Grupo 4	Grupo 5	não
Grupo 4	Grupo 6	não
Grupo 5	Grupo 6	não

Fonte: dados da pesquisa.

Por fim, de acordo com o resultado apresentado pelos testes comparativos, foi possível perceber que não há uma diferença de significância maior que 5% entre os grupos.



Considera-se que individualmente, todos convergem para o mesmo resultado, ou seja, o perfil dos estudantes de cada grupo permitiu que a conexão entre as dimensões fosse dada de maneira similar de forma que fosse possível mensurar com maior precisão a evolução do processo, desconsiderando as diferenças pessoais dos estudantes em cada aplicação.

Portanto, não é possível rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ) de que as populações pesquisadas são iguais.

Ainda a respeito da comparação entre as aplicações, foi realizada uma análise da invariância de medição das dimensões, buscando conceber se as diferentes populações compreenderam as dimensões pesquisadas da mesma forma. O resultado é apresentado na Tabela 48, para cada análise de invariância foram realizadas 500 replicações.

Tabela 48 - Análise da invariância de medição das dimensões.

<b>Primeiro Grupo</b>	<b>Segundo Grupo</b>	<b>Invariância de configuração</b>	<b>Invariância composicional</b>	<b>Igualdade dos valores médios e das variâncias dos compostos</b>
Grupo 1	Grupo 2	sim	sim	sim
Grupo 1	Grupo 3	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 1	Grupo 4	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 1	Grupo 5	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 1	Grupo 6	sim	sim	sim
Grupo 2	Grupo 3	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 2	Grupo 4	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 2	Grupo 5	sim	não ( <u>Autoestima</u> )	-
Grupo 2	Grupo 6	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 3	Grupo 4	sim	sim	sim
Grupo 3	Grupo 5	sim	sim	sim
Grupo 3	Grupo 6	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 4	Grupo 5	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 4	Grupo 6	sim	não ( <u>PBL</u> )	-
Grupo 5	Grupo 6	sim	não ( <u>PBL</u> )	-

Fonte: dados da pesquisa.

Dentre os passos para a verificação da invariância de medição das dimensões, a primeira delas, a invariância de configuração foi assegurada pelo uso da biblioteca própria de estimação PLS-PM desenvolvida durante o projeto.

Passando para a invariância composicional percebeu-se que no geral, os participantes de projetos diferentes (em diferentes semestres), tiveram percepções diferentes da metodologia de ensino.

De modo geral, conclui-se que a metodologia, em todas as aplicações, apresentou conexões semelhantes com o Aprendizado e com a Humanização, mantendo a conectividade do modelo proposto coerente. Contudo, a maneira com que diferentes grupos de estudantes (de semestres diferentes) encararam a metodologia sofreu variação.

Entende-se que essa percepção diferenciada da PBL pode ter ocorrido pelas particularidades referentes a cada semestre, em que os professores se adaptam aos estudantes, e que, embora por vezes os projetos pedidos fossem similares, os acontecimentos ao longo do semestre tomam rumos próprios.

Quanto a variância composicional do constructo Autoestima na comparação entre os grupos de dados 2 e 5, supõe-se que isso seja uma particularidade dos estudantes envolvidos, contudo, é importante salientar que mesmo esta variância composicional não gerou diferenças significantes na conectividade do modelo.

#### 5.2.5.2 Busca por heterogeneidades não-observadas

Foram feitas buscas por heterogeneidades não-observadas nos dados coletadas. Para comparar os resultados dos métodos de busca de heterogeneidades não observadas aplicadas ao modelo proposto, a função de otimização anteriormente utilizada doravante será identificada como fator de divergência, conforme (156), buscando mensurar o quanto o modelo se distancia dos dados originais pela soma dos residuais do modelo interno e do modelo externo.

$$\Delta E = \sum_{nmk} \sigma_{nmk}^2 + \sum_{nlk} \zeta_{nlk}^2 \quad (156)$$

O primeiro passo consistiu na estimação do número de segmentos a partir do algoritmo FIMIX-PLS. Os índices de apresentação apontaram que 2 é o número mais adequado de segmentos a serem buscados, com índice AIC de 1602,39 e BIC de 1670,36.

- PLS-GAS<sup>111 112 113</sup>

Posteriormente, passou-se para métodos considerados mais atuais na identificação de heterogeneidades não-observadas, iniciando-se pela segmentação baseada em algoritmos genéticos.

Nas duas classes isoladas pelo PLS-GAS não foram identificadas diferenças significativas no modelo.

- PLS-CPSO<sup>114</sup>

A próxima segmentação foi realizada também para 2 classes diferentes, desta vez baseada em enxame de partículas.

Para as classes isoladas pelo PLOS-CPSO também não foram identificadas diferenças significativas no modelo.

A Figura 74 apresenta o resultado da função de divergência para cada classe isoladas pelos algoritmos de busca de heterogeneidades não-observadas aplicados ao modelo da pesquisa<sup>115</sup>.

Por fim, apesar das diferenças apresentadas nos fatores de divergência de cada um dos algoritmos utilizados, nenhum deles foi capaz de isolar uma classe significativamente diferente das outras. Portanto, conclui-se que o modelo estrutural proposto é suficiente como representação única da teoria apresentada.

---

<sup>111</sup> Na implementação dos algoritmos heurísticos que requerem maior processamento computacional como o PLS-GAS e PLS-CPSO foi utilizado o protocolo MPI (*Message Passing Interface*) para integrar o código à programação paralela (COMPUTATION et al., 1995).

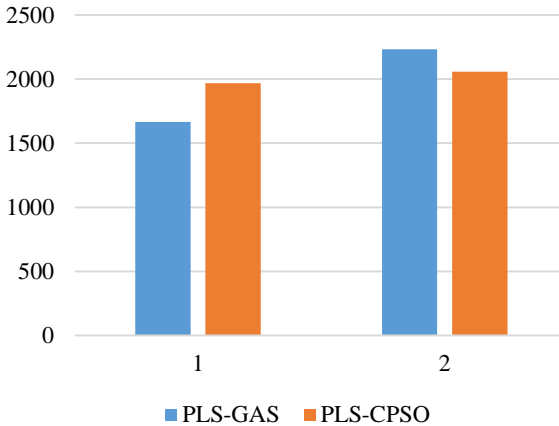
<sup>112</sup> No código fonte disponibilizado também existe a opção de busca de heterogeneidades não-observadas por meio de busca tabu.

<sup>113</sup> Parâmetros utilizados: número de indivíduos = 100; probabilidade de crossover = 0.85; probabilidade de mutação = 0,03; iterações = 2000.

<sup>114</sup> Parâmetros utilizados:  $C_1 = 1,5$ ;  $C_2 = 1,5$ ; índice de ajuste = 0,35; número de iterações = 2000.

<sup>115</sup> Deve-se observar que o objetivo desta seção não é comparar os algoritmos em escala genérica, mas sim provar a globalidade do modelo.

Figura 74 - Resultado da função de divergência ( $\Delta E$ ) para cada classe isoladas nas duas técnicas de heterogeneidades não-observadas utilizadas.



Fonte: dados da pesquisa.

### 5.2.6 Análise estatística de potência

Dado um teste de hipóteses estatísticas em que se deseja verificar a ocorrência de uma hipótese nula ( $H_0$ ), quatro situações são passíveis de ocorrer (COHEN, 1998):

Tabela 49 - Situações possíveis em um teste de hipóteses.

	<b><math>H_0</math> é verdadeira</b>	<b><math>H_1</math> é verdadeira</b>
<b><math>H_0</math> rejeitada</b>	Erro tipo I	Correto
<b><math>H_0</math> não rejeitada</b>	Correto	Erro tipo II

Fonte: adaptado de Cohen (1998).

Ao testar-se a hipótese é definido o erro de significância do erro tipo I, identificado por  $\alpha$  – tal como definido no *bootstrapping* previamente utilizado neste trabalho – em índices comumente de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Com este nível de significância existe 5% de erro da hipótese nula ser rejeitado mesmo ela sendo verdadeira.

No caminho inverso, ao se diminuir a probabilidade de ocorrência de um erro do tipo I, é aumentada a probabilidade de se ocorrer um erro do tipo II, definida como  $\beta$ .

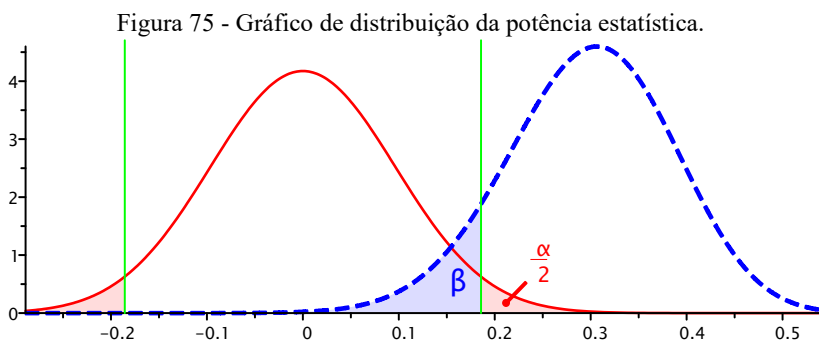
Define-se a potência estatística como a probabilidade de não se cometer do erro tipo II, definida por  $1 - \beta$ .

A partir dessas considerações, duas análises foram feitas para verificar a adequação do número de amostras à uma potência estatística considerada adequada, um teste *a priori* e um teste *a posteriori*.

### 5.2.6.1 A priori

O teste *a priori* busca identificar o número de amostrar necessário para que certos requisitos sejam alcançados. No caso específico do teste realizado neste trabalho buscou-se uma correlação entre as variáveis latentes de 0,3 (COHEN, 1998), um índice de significância de 5% e um poder estatístico de 0,9.

Com os índices apresentados, a distribuição desejada é apresentado na Figura 75.



Fonte: retirado do *software* G-Power (FAUL et al., 2007).

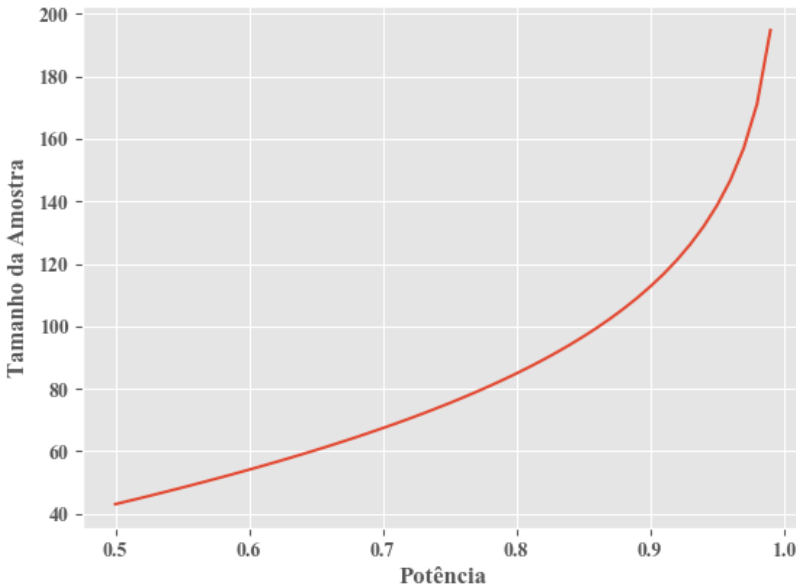
Pode-se calcular a amostra necessária conforme (157), com base nas distribuições normais padrões ( $\phi$ ) de  $\alpha$  e  $\beta$  (HULLEY et al., 2007).

$$N = \left( \frac{\phi(\alpha) - \phi(\beta)}{0.5 \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3 \quad (157)$$

A Figura 76 apresenta o resultado equação (157) relacionando diversos valores de potência estatística com os seus respectivos tamanhos

de amostra e indica que para o poder estatístico desejado, uma amostra de 112 respondentes é necessária. É possível concluir, *a priori*, que o número de amostrar coletados durante a realização deste trabalho é suficiente.

Figura 76 - Relação do tamanho de amostrar com a potência estatística relativa.



Fonte: o autor.

#### 5.2.6.2 *Post-hoc*

Em um teste de potência estatística após a coleta dos dados, para compreender melhor o comportamento do questionário, é realizada uma simulação de Monte Carlo, que objetiva levantar características do questionário submetido à pequenas amostras (AGUIRRE-URRETA; RÖNKKÖ, 2015; MUTHÉN; MUTHÉN, 2002).

Na metodologia empregada para a realização destes testes criou-se uma população fictícia de 1000 respondentes, que tiveram seus indicadores criados aleatoriamente com base na matriz de covariância dos respondentes originais. Esta medida faz com que respostas diferentes sejam angariadas sem distorcer o perfil dos estudantes da instituição.

Para a criação da população fictícia foi utilizada a Fatoração de Cholesky (UPTON; COOK, 2008), a partir dela é possível decompor uma matriz de covariância em (158), sendo  $L$  uma matriz triangular inferior.

$$\text{cov}(X) = L.L' \quad (158)$$

Fazendo uso da matriz extraída da decomposição, ao se gerar uma matriz aleatória independente, representada por  $M$ , então  $L.M$  é uma matriz de dados correlacionados.

A partir destes dados fictícios, a literatura recomenda que sejam feitas pelo menos 500 replicações de Monte Carlo para se chegar a um resultado considerado aceitável (AGUIRRE-URRETA; RÖNKKÖ, 2015), realizando-se para cada uma das replicações um *bootstrapping* de 500 vezes para confirmar suas mensurações.

O que se busca com este teste é a realização de simulações do questionário em populações menores, de mesmo perfil das encontradas neste trabalho, para entender seu comportamento e adequação do mesmo à pequenas amostras.

Foi realizada uma simulação de Monte Carlo, com 500 replicações contendo 15 respondentes fictícios – aleatoriamente escolhidos pela simulação a partir da população fictícia criada a partir da covariância original – em cada uma delas. Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 50.

De forma geral a mensuração da potência informa a frequência relativa em que o *p-value* do indicador apresentou significância abaixo de 5% e a cobertura é relativa aos intervalos de confiança, que informam a frequência com que os parâmetros populacionais se enquadram dentro dos limites estimados.

Dessa forma, para considerar o tamanho da população adequado espera-se que potência dos indicadores fiquem acima de 0,8;

Tabela 50 - Simulação de Monte Carlo para população de 15 pessoas.

<b>Conexão</b>	<b>Potência</b>	<b>Cobertura</b>
Humanização → Autoestima	0,998	0,95
Humanização → Autorrealização	0,998	0,95
Humanização → Cooperação	0,96	0,95
Humanização → PBL	0,914	0,95
PBL → Aprendizado	0,964	0,95

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados indicam que a ferramenta de avaliação validada neste trabalho é adequada para pequenas populações, podendo a sua aplicação ser replicada em turmas pequenas para avaliar a aplicação da aprendizagem orientada por projetos.

---

## FALANDO SOBRE O PROJETO INTEGRADO

*Nem somente humanista nem somente técnica, uma educação significativa precisa englobar as duas variáveis.*

*Apesar de ter se sentido sobrecarregados com a realização do projeto, ainda conseguiu ter um aprendizado significativo.*

*Estudantes de semestres diferentes tiveram percepções diferentes sobre a metodologia de ensino.*



Esta tese desenvolveu e validou o modelo de como se dá a aprendizagem diante de uma metodologia ativa na Engenharia Elétrica. Para tanto, como estudo de caso foi desenvolvida uma nova metodologia de aprendizagem ativa denominada PBL<sup>A</sup> (*Project-Based Learning Agile*).

A metodologia foi implementada no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional de Blumenau. Buscou-se firmar a validade desse modelo de ensino como um complemento às tendências usuais na educação superior. Para que isso fosse possível adaptou-se a metodologia proposta a um curso no qual os estudantes – em geral – conciliam jornadas de trabalho de 40 horas semanais com a educação superior.

A metodologia proposta modifica o manifesto Agile original para se adequar e maximizar a relação de ensino-aprendizagem, gerando o seguinte manifesto modificado:

*Indivíduos e interações mais que processos e ferramentas*  
*Simulação em funcionamento mais que documentação abrangente*  
*Colaboração com o estudante mais que negociação de prazos*  
*Responder a mudanças mais que seguir um plano*

Ao longo da revisão bibliográfica, na busca de modelos de aplicação de *Project-Based Learning* e *Problem-Based Learning* percebeu-se que os resultados dessas metodologias, quando aplicadas à Engenharia Elétrica apresentam, quando muito, análise de frequência em relação aos resultados obtidos quantitativamente.

Durante o desenvolvimento da metodologia buscou-se incluir entre seus conceitos fatores da Humanização da educação em engenharia, baseados no referencial teórico deste trabalho, em que foram apresentados pensadores que suportam a ideia da importância das diferenças humanas na aprendizagem. No entendimento destas diferenças, foi possível contextualizar a "humanização da engenharia" como a necessidade compreender que o modelo formativo de engenheiros envolve implicações sociais mais complexas do que o ensino cartesiano.

Os aspectos humanos também foram considerados na proposição de um algoritmo modificado da *Partial Least Squares Path Modeling*, com estimação difusa dos coeficientes, com o objetivo de considerar as incertezas humanas durante a avaliação do processo, intitulado TSq-PLS-PM.

Os experimentos com a metodologia se estenderam durante seis semestres letivos, e ao final o projeto integrado já havia se incorporado ao folclore do curso de Engenharia Elétrica da FURB, e muito diferente daquela primeira aplicação – ainda bastante insegura – os estudantes já esperavam pelo projeto e ansiavam por ele, muitos já fazendo questão de repensar seus horários de aula para cursar as duas disciplinas simultaneamente. A longevidade da aplicação do projeto é também um aspecto importante para consolidar os resultados obtidos.

Ao longo dessas intervenções, um questionário foi aplicado em 188 estudantes participantes, que apesar de seu caráter experimental como uma ferramenta de análise do processo, teve sua confiabilidade e sua validação consideradas aceitáveis.

O questionário aplicado visou confirmar as hipóteses levantadas na literatura a respeito da formação do conhecimento diante da aprendizagem ativa:

- A Humanização é um fator comum da Autoestima;
- A Humanização é um fator comum da Autorrealização;
- A Humanização é um fator comum da Cooperação;
- A Humanização influi positivamente na PBL;
- A PBL influi positivamente no Aprendizado.

Portanto, para a proposição da ferramenta de análise do processo, buscou-se na literatura informações a respeito da relação do estudante com a aprendizagem por meio de uma abordagem humanista, chegando-se a cinco dimensões: Autoestima, Autorrealização, Cooperação, PBL e Aprendizado. Foi sugerido que as três primeiras dimensões (Autoestima, Autorrealização e Cooperação) formariam uma dimensão de segunda ordem denominada “Humanização”.

A partir do resultado dos questionários é possível inferir que embora grande parte dos estudantes gostaria de repetir esta experiência em outras disciplinas e consideraram a relação interdisciplinar positiva para o aprendizado, a maior parte dos estudantes se sentiu sobrecarregada com a realização do projeto em paralelo as aulas tradicionais.

Após a Análise de Frequência dos dados coletados, o estudo da formação do conhecimento diante da aprendizagem ativa na Engenharia

Elétrica foi submetido a uma Modelagem de Equações Estruturais, no estado-da-arte do algoritmo PLS-PM.

Foi possível compreender estatisticamente como se dá a formação da aprendizagem diante da PBL. Os dados apontaram que o processo educacional aplicado neste trabalho tem as suas raízes em uma base humanista, formada por aspectos individuais (Autoestima e Autorrealização) e pela Cooperação entre os estudantes, e assim – sustentada por essa Humanização – a PBL serve como base para o Aprendizado.

As hipóteses ainda demonstraram um índice de confiabilidade adequado quando as regressões lineares forem substituídas por regressões possibilísticas, de forma a compreender a influência dos *outliers* no modelo.

Os dados apontam o aspecto de sobrecarga do estudante ante a aplicação da PBL, e que mesmo que a aprendizagem seja significativa ao final do processo, ela se dá mantendo o estudante sobre estresse contínuo.

Comparações entre as diferentes aplicações (heterogeneidades observadas) não foram capazes de identificar diferenças significantes nos resultados do modelo, contudo, foram identificadas diferenças na forma como estudantes de semestres diferentes compreenderem a PBL, mostrando que mesmo que projeto semelhante seja aplicado, cada semestre possui as suas peculiaridades.

Na busca por heterogeneidades não-observadas no modelo também não foram encontradas diferenças significantes entre os segmentos isolados, mostrando que o modelo global proposto é válido. Contudo, percebeu-se que estudantes de diferentes aplicações tiveram percepções diferentes a respeito da PBL, apesar de terem sido afetados pela metodologia da mesma forma.

Ainda na comparação entre os diferentes semestres de aplicação, percebeu-se um crescente nas respostas positivas dos estudantes ao longo dos primeiros quatro semestres (englobando Eletrônica de Potência II e Controle e Servomecanismos) pela constante adaptação e aprimoramento do projeto. Percebeu-se ainda que os resultados tiveram uma queda nos últimos dois semestres da aplicação devido a troca da disciplina de Eletrônica de Potência II pela disciplina de Eletrônica de Potência I, necessitando de uma nova adaptação dos docentes envolvidos.

Mostrou-se nesta tese um importante aspecto do uso da Modelagem de Equações Estruturais com estimação PLS em levantamentos educacionais, – técnica tipicamente utilizada na área de marketing –, apresentando resultados considerados satisfatórios ao confirmarem conhecimentos empíricos e científicos levantados na literatura. A confirmação

apresentada colabora para o entendimento do impacto da humanização no processo de ensino.

Quanto à originalidade do trabalho, propôs-se e validou-se a “Pirâmide de formação da PBL”, inédita na literatura, que visa compreender a formação do conhecimento quando intermediado pela aprendizagem ativa.

Por fim, os resultados apresentados neste estudo, que tiveram sua potência estatística testada e comprovada, apontam que a humanização é parte importante no processo educacional da formação de um futuro engenheiro electricista e serve como base para a aprendizagem quando intermediada por uma metodologia ativa.

## 6.1 LIMITAÇÕES

Reconhece-se as limitações decorrentes de realizar o estudo em apenas uma instituição, a Universidade Regional de Blumenau (FURB). Além disso, como metodologias ativas não estão no currículo da instituição, apenas alguns cursos participaram do estudo, de acordo com a adoção espontânea dos professores sobre as metodologias. No entanto, os resultados apresentados aqui e a aplicação contínua da metodologia na instituição abriram a discussão do PBL como requisito curricular.

Outra limitação é o número de dimensões consideradas neste trabalho como um fator comum de humanização. Futuros questionários podem expandir o número de competências transversais analisadas.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se que a PBL seja expandida para outros conjuntos de disciplinas e até mesmo integrada na grade de um curso de Engenharia Elétrica como forma de ampliar o horizonte de sua validação. Para tanto, sugere-se a elaboração de um novo questionário que englobe um maior número de competências transversais para que a análise da influência de cada uma dela na aprendizagem seja mensurada, sendo possível identificar as que necessitam de maiores esforços para sua melhoria.

Sugere-se também que a PBL seja aplicada em grupos distribuídos de forma arbitrária, contendo estudantes com os perfis mais distintos possíveis, de forma a fortalecer as competências transversais dos estudantes ao terem que lidar com, além do trabalho em si, também, com as diferenças.

Pode-se ainda adicionar as notas das avaliações dos estudantes como variáveis na modelagem de equações estruturais para analisar o impacto do conhecimento não só do ponto de vista da percepção do estudante. Contudo, tal abordagem poderia resultar na necessidade da aplicação de questionários não-anônimos.

Também, análises considerando a experiência dos professores diante da implementação de uma metodologia ativa podem contribuir para o entendimento mazelas relacionadas ao processo, de modo a aprimorar a aplicação da metodologia.

### 6.3 VALOR DO TRABALHO

Acredita-se que parte do valor desta tese está nas pessoas que durante essa empreitada foram levadas a pensar, ao menos que por um instante, em seus conceitos sobre a educação na engenharia. E é claro, acima de tudo o valor está nos conhecimentos passados aos estudantes que participaram do projeto, que em um futuro, talvez distante, serão defrontados com alguma situação na qual possam fazer uso das competências aqui desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE-URRETA, M. I.; RÖNNKÖ, M. Sample Size Determination and Statistical Power Analysis in PLS Using R: An Annotated Tutorial. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 36, n. January 2015, p. 33–51, 2015.
- AKAIKE, H. A New Look at Statistical Model Identification. **IEEE Trans. Automatic Control**, v. 19, p. 716–723, 1974.
- ALMEIDA, M. **Inteligências múltiplas. Você não é tão burro quanto pensa.** Disponível em: <<https://medium.com/@almeidamarcell/inteligências-múltiplas-você-não-é-tão-burro-quanto-pensa-fdb143e09fa7>>. Acesso em: 24 fev. 2016.
- ARCE GARCÍA, V. Manjón, educador. **Pulso: revista de educación**, 2002.
- AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Educational psychology : a cognitive view.** [s.l.] Holt, Rinehart and Winston, 1980.
- AZUR, M. J. et al. Multiple imputation by chained equations: What is it and how does it work? **International Journal of Methods in Psychiatric Research**, v. 20, n. 1, p. 40–49, 2011.
- BACK, N.; OGLIARI, A. Desenvolvimento do produto: engenharia simultânea. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**, 2001.
- BAGOZZI; YI, Y. On the evaluation of structural equation models. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 16, n. Spring, p. 74–94, 1998.
- BARALDI, A. N. et al. An introduction to modern missing data analyses. **Journal of School Psychology**, v. 48, n. 1, p. 5–37, 2010.
- BARROWS, H. S. Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. **New Directions for Teaching and Learning**, v. 1996, n. 68, p. 3–12, jan. 1996.
- BAZZO, W. Ponto de Ruptura Civilizatória: a Pertinência de uma Educação “Desobediente”. **revistacts.net**, 2016a.
- BAZZO, W. A. **A tecnologia e o processo civilizatório. Mensagem do coordenador.** Disponível em: <<http://www.nepet.ufsc.br/>>. Acesso em: 13 abr. 2016.
- BAZZO, W. A. **Uma nova equação civilizatória x Problemas contemporâneos da educação. Mensagem do coordenador.** Disponível em: <<http://www.nepet.ufsc.br/>>. Acesso em: 13 abr. 2016b.
- BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V.; BAZZO, J. L. S. Conversando sobre educação tecnológica. **Florianópolis: Ed. da UFSC**, 2014.
- BECKER, J.-M. et al. Discovering Unobserved Heterogeneity in Structural Equation Models to avert validity threats. **MIS Quarterly**, v. 37, n. 3, p. 665–694, 2013.
- BECKER, J.-M.; KLEIN, K.; WETZELS, M. Hierarchical Latent Variable Models in PLS-SEM: Guidelines for Using Reflective-Formative Type

- Models. **Long Range Planning**, v. 45, n. 5–6, p. 359–394, out. 2012.
- BIDO, D. D. S.; MANTOVANI, D. M. N.; COHEN, E. D. **Aplicações da análise fatorial exploratória à pesquisa na área de produção e operações: um estudo em publicações nacionais e internacionais**. Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais. **Anais...2016**
- BISSERIER, A.; GALICHET, S.; BOUKEZZOULA, R. **Fuzzy piecewise linear regression**. 2008 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (IEEE World Congress on Computational Intelligence). **Anais...IEEE**, jun. 2008Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4630658/>>
- BOUD, D.; FELETTI, G. The challenge of problem-based learning. 1998.
- BRACKENBURY, L. E. M.; PLANA, L. A.; PEPPER, J. System-on-Chip Design and Implementation. **IEEE Transactions on Education**, v. 53, n. 2, p. 272–281, maio 2010.
- BRANDÃO, C. Humanizar é educar: o desafio de formar pessoas através da educação. **Escritos abreviados**, 2005.
- BREIMAN, L. et al. Classification and Regression Trees. **Wadsworth Inc, {ISBN-13: 978-0412048418}**, 1984.
- BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.
- BROWNLIE, J. Clever Algorithms. In: **Search**. [s.l.: s.n.]. p. 436.
- BRUNER, J. Acts of meaning. 1990.
- CARGNIN-STIELER, M. **Educação em engenharia: aspectos da formação pedagógica para o ensino em Engenharia Elétrica**. Tese (Doutorado) - UNESP: Ilha Solteira, 2014.
- CASTELLS, M. The Rise of the Network Society. **Massachusetts: Blackwell Publishing**, v. I, p. 594, 2010.
- CATALDO, R. **Developments in PLS-PM for the building of a System of Composite Indicators**. Tese (Doutorado): Università degli Studi di Napoli Federico II, 2016.
- CHAN, L.; WUZ, M. Fuzzy Regression; Methods and Evaluations. **Journal of Macau University of Science and Technology**, 2007.
- CHESSSEL, D.; HANAFI, M. Analyses de la co-inertie de K nuages de points. **Revue de Statistique Appliquée**, v. 44, p. 35–60, 1996.
- CHIN, W. W. The partial least squares approach for structural equation modelling. In: **Modern methods for business research (quantitative methodology series)**. [s.l.] Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1998. p. 295–336.
- CHIN, W. W. How to Write Up and Report PLS Analyses. In: **Handbook of Partial Least Squares**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 655–690.
- CHIN, W. W.; DIBBERN, J. **Handbook of Partial Least Squares**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010.

- CHU, R. H.; LU, D. D.-C.; SATHIAKUMAR, S. Project-Based Lab Teaching for Power Electronics and Drives. **IEEE Transactions on Education**, v. 51, n. 1, p. 108–113, 2008.
- CHUMNEY, F. L. Comparison of maximum likelihood, Bayesian, partial least squares, and generalized structured component analysis methods for estimation of structural equation. 2012.
- COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. [s.l.: s.n.]. v. 2nd Editio
- COMPUTATION, E. et al. Using MPI : Portable Parallel Programming With the Message-passing Interface. 1995.
- CORREIA, A. M. A.; CHENG, L. Aprender a ensinar a aprender. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, 2000.
- COSTELLO, A., B.; OSBORNE, J., W. Best Practices in Exploratory Factor Analysis: Four Recommendations for Getting the Most From Your Analysis. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 10, n. 7, p. 1–9, 2005.
- CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, v. 16, n. 3, p. 297–334, set. 1951.
- DAMÁSIO, B. F. Uso da análise fatorial exploratória em psicologia. **Avaliação Psicológica**, v. 11, n. 2, p. 213–228, 2012.
- DECI, E. L.; RYAN, R. M. Conceptualizations of Intrinsic Motivation and Self-Determination. **Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior**, p. 11–39, 1985.
- DEWEY, J. My pedagogic creed. 1897.
- DIAMOND, P. Fuzzy least squares. **Information Sciences**, v. 46, n. 3, p. 141–157, dez. 1988.
- DIJKSTRA, T. K.; HENSELER, J. Consistent Partial Least Squares Path Modeling. **MIS Quarterly**, v. 39, n. 2, p. 297–316, 2015.
- DONOSO, S. Quadratic Programming Models for Fuzzy Regression. **International Conference on Mathematical and Statistical Modeling in Honor of Enrique Castillo**, 2006.
- DUDERSTADT, J. J. Engineering for a Changing World. In: **Holistic Engineering Education**. New York, NY: Springer New York, 2010. p. 17–35.
- EFRON, B. Better Bootstrap Confidence Intervals. **Journal of American Statistical Association**, v. 82, n. 397, p. 171–185, mar. 1987.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. An Introduction to the Bootstrap. 1993.
- EL-KHALILI, N. H. Teaching Agile Software Engineering Using Problem-Based Learning. **International Journal of Information and Communication Technology Education**, v. 9, n. 3, p. 1–12, jan. 2013.
- ESPOSITO VINZI, V.; RUSSOLILLO, G. Partial least squares algorithms and methods. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 5, n. 1, p. 1–19, 2013.
- FAUL, F. et al. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for



- the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior Research Methods**, v. 39, n. 2, p. 175–191, maio 2007.
- FERREIRA, D.; TEIXEIRA, J. C.; RODRIGUES, J. S. **A Questão da Humanização nos Cursos de Engenharia**. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. **Anais...2004**
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. DA. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião Pública**, v. 16, n. 1, p. 160–185, jun. 2010.
- FORNELL, C.; LARCKER, D. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. **Journal of marketing research**, v. 18, n. 3, p. 39–50, 1981.
- FOWLER, M.; HIGHSMITH, J. The agile manifesto. **Software Development**, 2001.
- FREEMAN, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 23, p. 8410–8415, 10 jun. 2014.
- GALLAGHER, S. A.; STEPIEN, W. J. Content acquisition in problem-based learning: Depth versus breadth in American studies. **Journal for the Education of the Gifted**, v. 19, n. 3, p. 257–275, 1996.
- GANNOD, G. C. et al. **Agile way of educating**. 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). **Anais...IEEE**, out. 2015
- GARDNER, H. **Multiple intelligences: New horizons**. 2006.
- GARY, K. A.; SOHONI, S.; XAVIER, S. **Pre-conference workshop: Agile teaching and learning**. 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). **Anais...IEEE**, out. 2015
- GELADI, P.; KOWALSKI, B. R. Partial least-squares regression: a tutorial. **Analytica Chimica Acta**, v. 185, p. 1–17, 1986.
- GERALDI, J. W. **A aula como acontecimento**. 2ª ed. São Carlos: Pedro e João Editores, 2010.
- GLORFELD, L. W. An Improvement on Horn's Parallel Analysis Methodology for Selecting the Correct Number of Factors to Retain. **Educational and Psychological Measurement**, v. 55, n. 3, p. 377–393, 1995.
- GOLDSMITH, M. Try feedforward instead of feedback. **Journal for Quality and Participation**, 2003.
- GREENE, L. J. **É hora de rever o sistema de pós-graduação brasileiro**. Disponível em: <<http://blog.scielo.org/blog/2015/01/26/e-hora-de-rever-o-sistema-de-pos-graduacao-brasileiro/>>. Acesso em: 25 fev. 2016.
- GÜNTHER, H. Como elaborar um questionário. **Brasília: UnB, Laboratório de Psicologia Ambiental**, 2003.
- GUROBI OPTIMIZATION, I. **Gurobi Optimizer Reference Manual**, 2016. Disponível em: <<http://www.gurobi.com>>
- GUZMAN RAMIREZ, E. et al. A tool for supporting the design of DC-DC

- converters through FPGA-based experiments. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 1, p. 289–296, jan. 2016.
- HAHN, C. et al. Capturing Customer Heterogeneity Using a Finite Mixture PLS Approach. **Schmalenbach Business Review**, v. 54, n. July, p. 243–269, 2002.
- HAIR, J. et al. An updated and expanded assessment of PLS-SEM in information systems research. **Industrial Management & Data Systems**, v. 117, n. 3, p. 442–458, 10 abr. 2017a.
- HAIR, J. F. et al. Multivariate data analysis. 2009.
- HAIR, J. F. et al. An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling in marketing research. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 40, n. 3, p. 414–433, 7 maio 2012.
- HAIR, J. F. et al. Mirror, mirror on the wall: a comparative evaluation of composite-based structural equation modeling methods. **Journal of the Academy of Marketing Science**, 16 fev. 2017b.
- HAIR, J. F.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet. **The Journal of Marketing Theory and Practice**, v. 19, n. 2, p. 139–152, 1 abr. 2011.
- HAIR JR, J. F. et al. **a Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (Pls-Sem)**. 2nd. ed. [s.l.] SAGE, 2014.
- HANAFI, M. PLS Path modelling: computation of latent variables with the estimation mode B. **Computational Statistics**, v. 22, n. 2, p. 275–292, 26 jun. 2007.
- HAYEK, F. A. The use of knowledge in society. **The American Economic Review**, v. 35, n. 4, p. 519–530, 1945.
- HEBB, D. O. **The organization of behavior**. New York: Wiley, 1949.
- HENSELER, J. On the convergence of the partial least squares path modeling algorithm. **Computational Statistics**, v. 25, n. 1, p. 107–120, 1 mar. 2010.
- HENSELER, J. et al. Common Beliefs and Reality About PLS: Comments on Ronkko and Evermann (2013). **Organizational Research Methods**, v. 17, n. 2, p. 182–209, 1 abr. 2014.
- HENSELER, J.; HUBONA, G.; RAY, P. A. Using PLS Path Modeling in New Technology Research: Updated Guidelines. **Industrial Management & Data Systems**, v. 116, n. 1, p. 2–20, 2016.
- HENSELER, J.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 43, n. 1, p. 115–135, 22 jan. 2015.
- HENSELER, J.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. Testing measurement invariance of composites using partial least squares. **International Marketing Review**, v. 33, n. 3, p. 405–431, 9 maio 2016.
- HENSELER, J.; RINGLE, C. M.; SINKOVICS, R. R. The use of partial least squares path modeling in international marketing. **Advances in**

- International Marketing**, Advances in International Marketing. v. 20, 2009.
- HENSELER, J.; SARSTEDT, M. Goodness-of-fit indices for partial least squares path modeling. **Computational Statistics**, v. 28, n. 2, p. 565–580, 4 abr. 2013.
- HERREID, C. F. Why Isn't Cooperative Learning Used to Teach Science? **BioScience**, v. 48, n. 7, p. 553–559, jul. 1998.
- HORN, J. L. A rationale and test for the number of factors in factor analysis. **Psychometrika**, v. 30, n. 2, p. 179–185, 1965.
- HOSSEINZADEH, N.; HESAMZADEH, M. R. Application of Project-Based Learning (PBL) to the Teaching of Electrical Power Systems Engineering. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 4, p. 495–501, nov. 2012.
- HULLAND, J. Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: A review of four recent studies. **Strategic Management Journal**, v. 20, n. 2, p. 195, 1999.
- HULLEY, S. B. et al. Designing Clinical Research. **Optometry Vision Science**, v. 78, p. 351, 2007.
- HUMBOLDT, V. Sobre a Organização Interna e Externa das Instituições Científicas Superiores em Berlim. **Gerhard Cásper & Wilhelm von Humboldt, Um mundo sem Universidades?**, 1997.
- ISHIBUCHI, H.; TANAKA, H. Fuzzy regression analysis using neural networks. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 50, n. 3, p. 257–265, set. 1992.
- JARBOUI, B. et al. Combinatorial particle swarm optimization (CPSO) for partitional clustering problem. **Applied Mathematics and Computation**, v. 192, n. 2, p. 337–345, set. 2007.
- JARDIM, J. Programa de desenvolvimento de competências pessoais e sociais: estudo para a promoção do sucesso acadêmico. 2007.
- JÖNSSON, P.; WOHLIN, C. An evaluation of k-nearest neighbour imputation using Ilkert data. **Proceedings - International Software Metrics Symposium**, p. 108–118, 2004.
- JUNIOR, J. F. H. et al. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**, 2005.
- KAHNEMAN, D. Rápido e devagar: duas formas de pensar. 2012.
- KAISER, H. F. A second generation little jiffy. **Psychometrika**, v. 35, n. 4, p. 401–415, 1970.
- KAISER, H. F.; RICE, J. Little Jiffy, Mark Iv. **Educational and Psychological Measurement**, v. 34, n. 1, p. 111–117, 1 abr. 1974.
- KEIL, M. et al. A Cross-Cultural Study on Escalation of Commitment Behavior in Software Projects. **MIS Quarterly**, v. 24, n. 2, p. 299, jun. 2000.
- KENNEDY, J.; EBERHART, R. **Particle swarm optimization**. Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks. **Anais...IEEE**, 1995Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/488968/>>
- KIM, J. An Ill-Structured PBL-Based Microprocessor Course Without

- Formal Laboratory. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 1, p. 145–153, fev. 2012.
- KLUGER, A.; NIR, D. Feedforward first, feedback later. **26th International Conference of Applied Psychology**, 2006.
- KNOLL, M. The Project Method: Its Vocational Education Origin and International Development. **Journal of Industrial Teacher Education**, v. 34, n. 3, p. 59–80, 1997.
- KOFFKA, K. Principles of Gestalt psychology. 2013.
- KOURGANOFF, V. A face oculta da universidade. 1990.
- KRAMER, N. **Analysis of high dimensional data with partial least squares and boosting**. Tese (Doutorado): Technischen Universität Berlin, 2007.
- KUMAR, A.; FERNANDO, S.; PANICKER, R. C. Project-Based Learning in Embedded Systems Education Using an FPGA Platform. **IEEE Transactions on Education**, v. 56, n. 4, p. 407–415, nov. 2013.
- LAMAR, D. G. et al. **A project-based learning approach to teaching power electronics: Difficulties in the application of Project-Based Learning in a subject of Switching-Mode Power Supplies**. IEEE EDUCON 2010 Conference. **Anais...IEEE**, abr. 2010
- LAMBERTI, G.; ALUJA, T. B.; SANCHEZ, G. The Pathmox approach for PLS path modeling segmentation. **Applied Stochastic Models in Business and Industry**, v. 32, n. 4, p. 453–468, jul. 2016.
- LARMER, J. **Project-Based Learning vs. Problem-Based Learning vs. X-BL**. Disponível em: <<http://http://www.edutopia.org/blog/pbl-vs-pbl-vs-xbl-john-larmer>>. Acesso em: 2 abr. 2016.
- LARMER, J.; MERGENDOLLER, J. Why We Changed Our Model of the “8 Essential Elements of PBL”. **The Buck Institute for Education**, 2015.
- LARMER, J.; MERGENDOLLER, J. R. Seven essentials for project-based learning. **Educational leadership**, 2010.
- LAYTON, M. C. **Agile project management for dummies**. [s.l.: s.n.].
- LEMBO, D.; VACCA, M. Project Based Learning + Agile Instructional Design = EXtreme Programming based Instructional Design Methodology for Collaborative Teaching. **Department of Computer and System Sciences Antonio Ruberti Technical Reports**, 2012.
- LEONTIEV, A. N. O desenvolvimento do psiquismo. 1978.
- LIAW, A.; WIENER, M. Classification and Regression by randomForest. **R news**, v. 2, n. December, p. 18–22, 2002.
- LIMA JÚNIOR, P. **Evasão do ensino superior de Física segundo a tradição disposicionalista em sociologia da educação**. Tese (Doutorado) - UFRGS: Porto Alegre, 2013.
- LOHMÖLLER, J.-B. **Latent Variable Path Modeling with Partial Least Squares**. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 1989.
- MALCOM, S. M. The human face of engineering. **Journal of Engineering**

- Education**, v. 97, n. July, p. 237–238, jul. 2008.
- MASLOW, A. H. Introdução à psicologia do ser. 1968.
- MATHES, H. Global optimisation criteria of the PLS algorithm in recursive path models with latent variables. In: HAAGEN, K.; BARTHOLOMEW, D. J.; M, D. (Eds.). . **Statistical modelling and latent variables**. [s.l.] Elsevier, 1993.
- MATSUNAGA, M. How to Factor-Analyze Your Data Right: Do's, Don'ts, and How-To's. **International Journal of Psychological Research**, v. 3, n. 1, p. 97–110, 2015.
- MAULIK, U.; BANDYOPADHYAY, S. Genetic algorithm-based clustering technique. **Pattern Recognition**, v. 33, n. 9, p. 1455–1465, set. 2000.
- MINGOTI, S. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. 2005.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Diretrizes curriculares para os cursos de engenharia**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1362.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2015.
- MITCHELL, J. E.; CANAVAN, B.; SMITH, J. Problem-Based Learning in Communication Systems: Student Perceptions and Achievement. **IEEE Transactions on Education**, v. 53, n. 4, p. 587–594, nov. 2010.
- MONETT, D. **Agile Project-Based Teaching and Learning**. 11th International Conference on Software Engineering Research and Practice, SERP 2013. **Anais...22 jul. 2013** Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/257414622\\_Agile\\_Project-Based\\_Teaching\\_and\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/257414622_Agile_Project-Based_Teaching_and_Learning)>. Acesso em: 28 abr. 2016
- MORAN, J. M. Os novos espaços de atuação do educador com as tecnologias. **12º Endipe - Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino**, n. September, p. 245–253, 2004.
- MOREIRA, M. Teorias de aprendizagem. 1999.
- MORIN, E. Os setes saberes necessários à educação do futuro. 2001.
- MORIN, E. A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento. 2003.
- MOTA, A. D. A.; MOTA, L. T. M.; MORELATO, A. Teaching Power Engineering Basics Using Advanced Web Technologies and Problem-Based Learning Environment. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 19, n. 1, p. 96–103, fev. 2004.
- MURTAGH, F.; LEGENDRE, P. Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? **Journal of Classification**, v. 31, n. 3, p. 274–295, 18 out. 2014.
- MUTHÉN, L. K.; MUTHÉN, B. O. How to Use a Monte Carlo Study to Decide on Sample Size and Determine Power. **Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal**, v. 9, n. 4, p. 599–620, 2002.
- NACHTIGALL, C. et al. (Why) should we use SEM? Pros and cons of

- structural equation modeling. **Methods of Psychological Research**, v. 8, n. 2, p. 1–22, 2003.
- NEISSER, U. et al. Intelligence: Knowns and unknowns. **American Psychologist**, v. 51, n. 2, p. 77–101, 1996.
- NONCLERCQ, A. et al. Problem-Based Learning in Instrumentation: Synergism of Real and Virtual Modular Acquisition Chains. **IEEE Transactions on Education**, v. 53, n. 2, p. 234–242, maio 2010.
- NOT, L. As pedagogias do conhecimento. 1981.
- NÓVOA, A. Professores: imagens do futuro presente. **Lisboa: Educa**, p. 25–47, 2009.
- NUNNALLY, J. C.; BERNSTEIN, I. H. **Psychometric Theory**. 3rd. ed. [s.l.] McGraw-Hill, 1994.
- OLIVEIRA, S. T. DE. Ferramentas para o aprimoramento da qualidade. 1996.
- PACHECO, R. L. **Avaliação formativa continuada do processo educativo em engenharia usando mapas cognitivos difusos**. Tese (Doutorado) - UFSC: Florianópolis, 2005.
- PALUMBO, F.; ROMANO, R.; VINZI, V. E. Fuzzy PLS Path Modeling: A New Tool For Handling Sensory Data. In: **Data Analysis, Machine Learning and Applications: Proceedings of the 31st Annual Conference of the Gesellschaft für Klassifikation e.V., Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, March 7–9, 2007**. [s.l.: s.n.]. p. 689–696.
- PANDIT, P. Fuzzy nonlinear regression using artificial neural networks. **Int. J. Adv. Appl. Math. and Mech**, 2014.
- PASHLER, H. et al. Learning Styles: Concepts and evidence. **Psychological Science in the Public Interest**, v. 9, n. 3, p. 105–119, 2008.
- PEARSON, A. V.; HARTLEY, H. O. **Biometrika Tables for Statisticians**. [s.l.] Cambridge University Press, 1972.
- PELLEGRINO, J. W. Rethinking and Redesigning Curriculum, Instruction and Assessment: What Contemporary Research and Theory Suggests. **A Paper Commissioned by the National Center on Education and the Economy for the New Commission on the Skills of the American Workforce**, n. November, p. 1–15, 2006.
- PELLEGRINO, J. W.; HILTON, M. L. **Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2012.
- PENEDO, A. A. Características principales y ejes de análisis de las distintas teorías del aprendizaje. **Foros Educación**, 2015.
- PENG, D. X.; LAI, F. Using partial least squares in operations management research: A practical guideline and summary of past research. **Journal of Operations Management**, v. 30, n. 6, p. 467–480, set. 2012.
- PENONE, C. et al. Imputation of missing data in life-history trait datasets: Which approach performs the best? **Methods in Ecology and Evolution**, v. 5, n. 9, p. 1–10, 2014.

- PEREIRA, E. M. DE A. A universidade da modernidade nos tempos atuais. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 14, n. 1, mar. 2009.
- PEUGH, J.; ENDERS, C. Missing Data in Educational Research: A Review of Reporting Practices and Suggestions for Improvement. **Review of Educational Research**, v. 74, n. 4, p. 525–556, 2004.
- PIAGET, J. A psicologia da inteligência. 2013.
- PMBOK. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). **Project Management Institute**, 2013.
- POWELL, W.; POWELL, P.; WEENK, W. Project Led Engineering Education. 2003.
- RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk , Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, v. 2, n. 1, p. 21–33, 2011.
- REDISH, E. F.; SMITH, K. A. Looking Beyond Content: Skill Development for Engineers. **Journal of Engineering Education**, v. 97, n. 3, p. 295–307, jul. 2008.
- REINARTZ, W.; HAENLEIN, M.; HENSELER, J. An empirical comparison of the efficacy of covariance-based and variance-based SEM. **International Journal of Research in Marketing**, v. 26, n. 4, p. 332–344, dez. 2009.
- RIBEIRO, L. R. C. The Pros and Cons of Problem-Based Learning from the Teacher’s Standpoint. **Journal of university teaching & learning practice**, v. 8, n. 1, p. 1–17, 2011.
- RIBEIRO, L. R. DE C. **A aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores**. Tese (Doutorado): São Carlos - UFScar, 2005.
- RIDLEY, M. **The rational optimist**, 2010. Disponível em: <<http://www.davidhoma.com/The Rational Optimist Chapter 1.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2016
- RIGDON, E. E. Choosing PLS path modeling as analytical method in European management research: A realist perspective. **European Management Journal**, v. 34, n. 6, p. 598–605, dez. 2016.
- RINGLE, C. M. Segmentation for Path Models and Unobserved Heterogeneity : The Finite Mixture Partial Least Squares Approach Research Papers on Marketing and Retailing. **Research Papers on Marketing and Retailing**, v. 35, n. 35, 2006.
- RINGLE, C. M. et al. PLS path modeling and evolutionary segmentation. **Journal of Business Research**, v. 66, n. 9, p. 1318–1324, set. 2013.
- RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. Gain more insight from your PLS-SEM results: The importance-performance map analysis. **Industrial Management & Data Systems**, v. 116, n. 9, p. 1865–1886, 17 out. 2016.
- RINGLE, C. M.; WENDE, S.; BECKER, J.-M. SmartPLS 3. **Boenningstedt: SmartPLS GmbH**, <http://www.smartpls.com>, 2015.

- ROMANO, R. **Fuzzy Regression and PLS Path Modeling: a combined two-stage approach for multi-block analysis**. Tese (Doutorado): Università degli Studi di Napoli Federico II, 2007.
- RYAN, R.; DECI, E. Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. **Contemporary educational psychology**, 2000.
- SANCHEZ, G. **Pathmix approach: segmentation trees in partial least squares path modeling**. Tese (Doutorado): Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.
- SANCHEZ, G. PLS path modeling with R. **Trowchez Editions, Berkeley**, 2013.
- SANTANA, A. C. **Metodologia para a aplicação da aprendizagem orientada por projetos (aopj), nos cursos de engenharia, com foco nas competências transversais**. Tese (Doutorado) - UnB: Brasília, 2009.
- SANTOS-MARTIN, D. et al. Problem-Based Learning in Wind Energy Using Virtual and Real Setups. **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 1, p. 126–134, fev. 2012.
- SAPUNARU, R. A.; SOUZA, A. R. Conhecendo e Aferindo: Bourdieu e o “Ser Engenheiro”. **Revista LABOR**, v. 1, n. 10, 2013.
- SARSTEDT, M. et al. Uncovering and Treating Unobserved Heterogeneity with FIMIX-PLS: Which Model Selection Criterion Provides an Appropriate Number of Segments? **Schmalenbach Business Review**, v. 63, n. 1, p. 34–62, 2011.
- SARSTEDT, M. et al. Estimation issues with PLS and CBSEM: Where the bias lies! **Journal of Business Research**, v. 69, n. 10, p. 3998–4010, out. 2016.
- SARSTEDT, M.; HENSELER, J.; RINGLE, C. M. Multigroup Analysis in Partial Least Squares (PLS) Path Modeling: Alternative Methods and Empirical Results. In: **Measurement and Research Methods in International Marketing (Advances in International Marketing)**. [s.l.: s.n.]. v. 22p. 195–218.
- SAVIC, D. A.; PEDRYCZ, W. Evaluation of fuzzy linear regression models. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 39, n. 1, p. 51–63, jan. 1991.
- SCHLITTGEN, R. et al. Segmentation of PLS path models by iterative reweighted regressions. **Journal of Business Research**, v. 69, n. 10, p. 4583–4592, out. 2016.
- SCHWARZ, G. Estimating the Dimension of a Model. **The Annals of Statistics**, v. 6, n. 2, p. 461–464, 1978.
- SEMAN, L. O. **Aplicação de Project-Based Learning na Engenharia Elétrica: projeto integrado**. Dissertação (Mestrado) - FURB: Blumenau, 2015.
- SEMAN, L. O.; GOMES, G.; HAUSMANN, R. Statistical Analysis Using PLS of a Project-Based Learning Application in Electrical Engineering. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 2, p. 646–651, fev. 2016.



- SHAPIRO, A. Fuzzy regression models. **Article of Penn State University**, p. 1–17, 2005.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3–4, p. 591–611, 1 dez. 1965.
- SHEPPARD, S. D.; PELLEGRINO, J. W.; OLDS, B. M. On Becoming a 21st Century Engineer. **Journal of Engineering Education**, v. 97, n. 3, p. 231–234, jul. 2008.
- SNEDECORM, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical Methods**. 8. ed. [s.l.] Iowa State University Press, 1983.
- SPEARMAN, C. “General Intelligence,” Objectively Determined and Measured. **The American Journal of Psychology**, v. 15, n. 2, p. 201, abr. 1904.
- STEKHOVEN, D. J.; BUHLMANN, P. MissForest--non-parametric missing value imputation for mixed-type data. **Bioinformatics**, v. 28, n. 1, p. 112–118, 1 jan. 2012.
- STERNBERG, R. J. Toward a triarchic theory of human intelligence. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 7, n. 2, p. 269, 4 jun. 1984.
- SUHR, D. Principal component analysis vs. exploratory factor analysis. **SUGI 30 proceedings**, 2005.
- TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S.; OTHERS. Using multivariate statistics. 2001.
- TANAKA, H.; GUO, P. **Possibilistic data analysis for operations research**. [s.l.] Physica-Verlag Heidelberg, 1999. v. 29
- TANAKA, H.; HAYASHI, I.; WATADA, J. Possibilistic linear regression analysis for fuzzy data. **European Journal of Operational Research**, v. 40, n. 3, p. 389–396, jun. 1989.
- TANAKA, H.; LEE, H. Interval regression analysis by quadratic programming approach. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 6, n. 4, p. 473–481, 1998.
- TANAKA, H.; UEJIMA, S.; ASAI, K. Linear Regression Analysis with Fuzzy Model. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 12, n. 6, p. 903–907, 1982.
- TAYLOR, J. Engineering the information age. **IEE Review**, v. 44, n. 6, p. 250–252, 1 nov. 1998.
- TENENHAUS, A.; TENENHAUS, M. Regularized Generalized Canonical Correlation Analysis. **Psychometrika**, v. 76, n. 2, p. 257–284, 17 abr. 2011.
- TENENHAUS, M. et al. PLS path modeling. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 48, n. 1, p. 159–205, jan. 2005.
- TENENHAUS, M.; HANAFI, M. A Bridge Between PLS Path Modeling and Multi-Block Data Analysis. In: **Handbook of Partial Least Squares**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 99–123.
- TEODORA, C. **ITA vai mudar cursos de graduação para “humanizar” estudantes.** Disponível em:

- <<http://www.ita.br/noticias/mudananoscursosvisahumanizarestudantes>>.
- THOMAS, J. W. A review of research on project-based learning. 2000.
- THURSTONE, L. L. The measurement of values. **Psychological Review**, v. 61, n. 1, p. 47–58, 1954.
- TINTO, V. Leaving college: Rethinking the causes and cures of student attrition. 1987.
- TOLEDO, E. J. L. **Estudo da correlação entre motivação, estilo de aprendizagem e os tipos psicológicos Junguianos**. Tese (Doutorado) - UFSCar: São Carlos, 2015.
- TORO, J. B. **Códigos da modernidade: capacidades e competências mínimas para participação produtiva no século XXI**. Porto Alegre: Fundação Maurício Sirotsky Sobrinho, 1988.
- TRINCHERA, L. **Unobserved Heterogeneity in Structural Equation Models: A New Approach to Latent Class Detection in PLS Path Modeling**. Tese (Doutorado): Università degli Studi di Napoli Federico II, 2007.
- TRINCHERA, L.; SQUILLACCIOTTI, S.; VINZI, V. E. PLS Typological Path Modeling: a model-based approach to classification. **Computational Statistics**, p. 2004–2005, 2006.
- TROYANSKAYA, O. et al. Missing value estimation methods for DNA microarrays. **Bioinformatics (Oxford, England)**, v. 17, n. 6, p. 520–5, 2001.
- UPTON, G.; COOK, I. A Dictionary of Statistics. **Oxford university press**, p. 512, 2008.
- VALLIM, M. B. R. **Um modelo reflexivo para formação de engenheiros**. Tese (Doutorado) - UFSC: Florianópolis, 2008.
- VEST, C. M. Context and Challenge for Twenty-First Century Engineering Education. **Journal of Engineering Education**, v. 97, n. 3, p. 235–236, jul. 2008.
- VIEIRA JUNIOR, N. **Planejamento de um ambiente virtual de aprendizagem baseado em interfaces dinâmicas e uma aplicação ao estudo de potência elétrica**. Tese (Doutorado) - UNESP: Ilha Solteira, 2012.
- VIGNOCHI, C. et al. Considerações sobre aprendizagem baseada em problemas na educação em saúde. **Revista HCPA**, 2009.
- VINZI, V. E. REBUS-PLS: A REsponse–Based Procedure for detecting Unit Segments in PLS Path Modeling. **Applied Stochastic Models in Business and Industry**, 2008.
- VINZI, V. E.; TRINCHERA, L.; AMATO, S. PLS Path Modeling: From Foundations to Recent Developments and Open Issues for Model Assessment and Improvement. In: **Handbook of Partial Least Squares**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 47–82.
- VOORHEES, C. M. et al. Discriminant validity testing in marketing: an analysis, causes for concern, and proposed remedies. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 44, n. 1, p. 119–134, 7 jan. 2016.

- VOSINAKIS, S.; KOUTSABASIS, P. Problem-based Learning for Design and Engineering Activities in Virtual Worlds. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 21, n. 3, p. 338–358, ago. 2012.
- VYGOTSKI, L. S. A formação social da mente. **Psicologia**, 1994.
- WALJEE, A. K. et al. Comparison of imputation methods for missing laboratory data in medicine. **BMJ Open**, v. 3, n. 8, p. e002847, 2013.
- WALTER, N.; ROJAS, F.; ARIGHI, A. Perspectiva y Cultura del Sujeto que Aprende. **Instituto Superior de Formación y Capacitación**, 2012.
- WANG, H.-F.; TSAUR, R.-C. Insight of a fuzzy regression model. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 112, n. 3, p. 355–369, jun. 2000.
- WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, n. 301, p. 236–244, 1963.
- WATSON, G. H., & GROH, S. E. Faculty mentoring faculty. In: **The power of problem-based learning**. [s.l: s.n.]. p. 13–25.
- WETZELS, M.; ODEKERKEN-SCHRÖDER, G.; VAN OPPEN, C. Using PLS path modeling for assessing hierarchical construct models: Guidelines and Empirical Illustration. **MIS Quarterly**, v. 33, n. 1, p. 177–195, 2009.
- WOLD, H. Partial least squares. In: KOTZAND, S.; JOHNSON, N. L. (Eds.). **Encyclopedia of Statistical Sciences**. [s.l.] Wiley, 1985. p. 581–591.
- WONG, K. K. Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Techniques Using SmartPLS. **Marketing Bulletin**, v. 24, n. 1, p. 1–32, 2013.
- WURDINGER, S. D. The Power of Project-Based Learning: Helping Students Develop Important Life Skills. p. 13–15, 2016.
- YU, J.-R.; TZENG, G.-H.; LI, H.-L. A general piecewise necessity regression analysis based on linear programming. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 105, n. 3, p. 429–436, ago. 1999.
- ZADEH, L. A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. SMC-3, n. 1, p. 28–44, 1973.
- ZANELLA, A.; SEIDEL, E.; LOPES, L. Validação de questionário de satisfação usando análise fatorial. **Rev Ingepro**, 2010.
- ZAPATER, M. et al. Project-Based Learning and Agile Methodologies in Electronic Courses: Effect of Student Population and Open Issues. **Electronics ETF**, v. 17, n. 2, 15 dez. 2013.

## **APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA PBL**

Questionário aplicado ao final do projeto para identificar a aceitação da PBL por parte dos estudantes bem como avaliar o desenvolvimento do conhecimento do estudante durante o processo e os fatores que o influenciaram.

QUESTÃO	OPÇÕES
Gostaria de repetir esta experiência em outras disciplinas.	(1) (2) (3) (4) (5)
Considerarei a relação interdisciplinar positiva para meu aprendizado.	(1) (2) (3) (4) (5)
O prazo para a realização do projeto foi satisfatório.	(1) (2) (3) (4) (5)
No final do projeto, cumpri os objetivos que eu almejava.	(1) (2) (3) (4) (5)
Não me senti sobrecarregado com a realização da PBL.	(1) (2) (3) (4) (5)

(1) Discordo completamente; (2) Discordo; (3) Indiferente; (4) Concordo; (5) Concordo completamente  
**Avalie como a PBL impactou...**

QUESTÃO	OPÇÕES
...na sua capacidade de resolver problemas de eletrônica de potência.	(1) (2) (3) (4) (5)
...na sua capacidade de resolver problemas de controle.	(1) (2) (3) (4) (5)
...na sua melhora na capacidade de tomar decisões de engenharia.	(1) (2) (3) (4) (5)
...na sua melhora na capacidade de buscar informações por si mesmo.	(1) (2) (3) (4) (5)
...na sua melhora em resolver problemas apresentados em sala de aula.	(1) (2) (3) (4) (5)

(1) Não satisfatório; (2) Pouco Satisfatório; (3) Indiferente; (4) Satisfatório; (5) Muito satisfatório

**Ao participar do grupo...**

QUESTÃO	OPÇÕES
...sentí que a cooperação ajudou a desenvolver novas ideias.	(1) (2) (3) (4) (5)
...costumo reconhecer as competências de meus colegas.	(1) (2) (3) (4) (5)
...sentí que todos colaboraram na procura por soluções.	(1) (2) (3) (4) (5)
...aprecio a união que se cria entre as pessoas.	(1) (2) (3) (4) (5)
...aumento a estima pelos companheiros.	(1) (2) (3) (4) (5)

(1) Discordo completamente; (2) Discordo; (3) Indiferente; (4) Concordo; (5) Concordo completamente

**No geral...**

<b>QUESTÃO</b>	<b>OPÇÕES</b>
...me senti confortável quando tive de enfrentar situações não previstas.	(1) (2) (3) (4) (5)
...consegui minimizar os efeitos negativos das adversidades.	(1) (2) (3) (4) (5)
...me mantive equilibrado mesmo diante das situações estressantes.	(1) (2) (3) (4) (5)
...tenho consciência das minhas capacidades intelectuais.	(1) (2) (3) (4) (5)
...julgo ter capacidades para ser bem sucedido.	(1) (2) (3) (4) (5)

(1) Discordo completamente; (2) Discordo; (3) Indiferente; (4) Concordo; (5) Concordo completamente

**Portanto...**

<b>QUESTÃO</b>	<b>OPÇÕES</b>
...tenho força de vontade para realizar aquilo a que me proponho.	(1) (2) (3) (4) (5)
...envolvi todas as minhas capacidades no trabalho que foi feito.	(1) (2) (3) (4) (5)
...me sinto realizado como estudante.	(1) (2) (3) (4) (5)
...sinto que os professores contribuíram para o meu desenvolvimento.	(1) (2) (3) (4) (5)
...sinto que a cada ano desenvolvo mais minhas habilidades.	(1) (2) (3) (4) (5)

(1) Discordo completamente; (2) Discordo; (3) Indiferente; (4) Concordo; (5) Concordo completamente

## APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE

O código fonte das rotinas implementadas em Python, que originaram a biblioteca PyLS-PM (*Partial Least Squares Path Modeling in Python*) estão disponíveis em:

**<https://github.com/lseman/pylspm>**

## ANEXO A – CORREÇÃO DA ATENUAÇÃO DOS RESULTADOS

Para estimação PLS-PM que busque variáveis latentes de fator comum, Dijkstra e Henseler (2015) sugerem um novo algoritmo identificado como PLSc (*Consistent Partial Least Squares*) que busca em Nunnally e Berstein (1994) suporte para uma correção na atenuação dos coeficientes obtidos, conforme (159), tornando os resultados “consistentes”.

$$cor_{xy}^c = \frac{cor_{xy}}{\sqrt{cor_{xx} \cdot cor_{yy}}} \quad (159)$$

Na equação,  $r_{xy}^c$  é a correlação consistente entre dois constructos  $x$  e  $y$ ,  $r_{xy}$  é a correlação entre os escores dos constructos, e  $r_{xx}$  e  $r_{yy}$  são suas respectivas confiabilidades. A confiabilidade utilizada nos cálculos foi proposta pelos próprios autores do algoritmo, definida como  $\rho_A$ , coeficiente calculado conforme (160).

$$\rho_A = (w'w)^2 \frac{w'(S - diag(S))w}{w(ww' - diag(ww'))w} \quad (160)$$

Sendo  $S$  a matriz de covariância empírica dos indicadores da variável latente e  $w$  é o vetor dos pesos relacionados à variável latente.

Com base nesses indicadores, a correlação entre os escores dos constructos pode ser corrigida conforme (161).

$$cor(\hat{Y}_i, \hat{Y}_j) = \frac{cor(Y_i, Y_j)}{\rho_A(Y_i) \cdot \rho_A(Y_j)} \quad (161)$$

As novas correlações permitem a estimação de novos coeficientes de caminho, e também de novas cargas fatoriais. As cargas fatoriais de uma variável latente com respeito aos seus pesos fatoriais e confiabilidade pode ser calculada como em (162).

$$\lambda = w \sqrt{\frac{\rho_A}{ww'}} \quad (162)$$



Embora Nunnally e Berstein (1994) tenham indicado ao propor a correção para a atenuação que ela deveria ser utilizada de maneira informativa e não para a correção dos resultados, o algoritmo de Dijkstra e Henseler (2015) vem ganhando notoriedade na literatura (HENSELER; HUBONA; RAY, 2016).

A possível correção da atenuação dos coeficientes tende a diminuir o valor das cargas fatoriais ao mesmo tempo em que aumenta os coeficientes de caminho entre as variáveis latentes.

No aspecto da ainda não comprovada eficiência do novo algoritmo, mas no entendimento da correção do algoritmo da PLS-PM para populações de fator comum, o algoritmo para a desatenuação dos resultados foi também incluído na biblioteca PyLS-PM.