



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DO
CONHECIMENTO

Alexsandro dos Santos Silveira

**ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO EFEITO COMBINADO DOS
AGENTES ESTRESSORES SOBRE O FLUXO DE CONHECIMENTO E CURVA DE
APRENDIZAGEM EM UMA UNIDADE EMBRAPII**

Florianópolis

2022

Alexsandro dos Santos Silveira

**ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO EFEITO COMBINADO DOS
AGENTES ESTRESSORES SOBRE O FLUXO DE CONHECIMENTO E CURVA DE
APRENDIZAGEM EM UMA UNIDADE EMBRAPII**

Tese submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento.
Orientador: Prof. Dr. João Artur de Souza,
Coorientadora: Prof^ª. Dra. Gertrudes Aparecida Dandolini.

Florianópolis

2022

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

Silveira, Alessandro dos Santos
ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO EFEITO COMBINADO DOS
AGENTES ESTRESSORES SOBRE O FLUXO DE CONHECIMENTO E CURVA
DE APRENDIZAGEM EM UMA UNIDADE EMBRAPPII / Alessandro dos
Santos Silveira ; orientador, João Artur de Souza,
coorientador, Gertrudes Aparecida Dandolini, 2022.
189 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia e Gestão do Conhecimento, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia e Gestão do Conhecimento. 2. Fluxo de
conhecimento. 3. Curva de aprendizagem. 4. Ambientes de
ensino. 5. Agentes estressores. I. de Souza, João Artur.
II. Dandolini, Gertrudes Aparecida. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia e Gestão do Conhecimento. IV. Título.

Alexsandro dos Santos Silveira

**ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO EFEITO COMBINADO DOS
AGENTES ESTRESSORES SOBRE O FLUXO DE CONHECIMENTO E CURVA DE
APRENDIZAGEM EM UMA UNIDADE EMBRAPH**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Vinícius Faria Culmant Ramos, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Paulo César Leite Esteves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Roberto Tadeu Raittz, Dr.
Universidade Federal do Paraná

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia do Conhecimento.

Prof. Dr. Roberto Carlos dos Santos Pacheco
Coordenador

Prof. João Artur de Souza, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais Alcino e Edinete.
Eles sempre serão minha base sólida.

AGRADECIMENTOS

Ao programador multidisciplinar, interdisciplinar e transdisciplinar “Zeus” criador desse magnífico jogo de videogame chamado Universo.

Ao Prof. Dr. Cláudio Melo por me ensinar a palavra “erudição” e pelo incessante incentivo, ao longo de quase 20 anos trabalhando juntos no Laboratório de pesquisa em Refrigeração e Termofísica (Polo). Igualmente, ao amigo e professor Dr. Christian Hermes que assumiu a gerência dos projetos do Polo, após o falecimento do professor Melo.

Na mesma magnitude, ao amigo e Prof. Dr. Joaquim M. Gonçalves por toda a confiança em mim depositada e pela oportunidade ofertada para trabalhar como técnico em refrigeração na sua tese de doutorado, no Polo. Neste período, construímos uma relação de amizade e compartilhamos muitos conhecimentos tácitos e explícitos.

Aos meus orientadores Prof. Dr. João Artur de Souza e Profa. Dr^a. Gertrudes Dandolini, que me acolheram no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento e sempre me apoiaram em tudo. Obrigado pelas orientações acadêmicas, pela amizade, simplicidade e companheirismo. Minha eterna gratidão.

A família sem dúvida é a base sólida para que possamos nos manter alinhados com os objetivos, mesmo quando passamos reto na curva. Digo isso porque, particularmente, meu estilo de vida sempre foi pilotando sobre a zebra, gerenciando várias atividades em paralelo, colocando a “mão na massa”, buscando o limite mesmo quando eu já o havia ultrapassado.

Aos meus amigos Diego Marchi e Gabriel Longen Podgaiestky, pelo incessante esforço em todas as fases desta pesquisa.

Everton Machado, pela parceria e ajuda no Polo durante o período em que eu cursava as disciplinas. As nossas viagens, “festinhas” e participações em congressos.

Aos engenheiros pesquisadores do Polo Márcio Demétrio e Guilherme Aguiar Senger.

A todos os amigos do Polo. Em especial, para Raul Liston, Gustavo Ardigó de Souza, Breno Borges, Pedro Brüggemann e Vitor Helio Alves que acompanharam minha trajetória.

À Unidade Embrapii – Polo onde se realizou o estudo de caso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa em Inovação Industrial (Embrapii).

Ao Núcleo de Estudos em Inteligência, Gestão e Tecnologia para Inovação (IGTI). Este núcleo tem por objetivo viabilizar estudos em torno do tema gestão para inovação utilizando modelos, métodos, técnicas e ferramentas sobre o ponto de vista da engenharia do conhecimento.

A todos aqueles que estiveram comigo, torceram por mim e que contribuíram de alguma forma para a conclusão dessa pesquisa.

“Ninguém baterá tão forte quanto a vida. Porém, não se trata de quão forte pode bater, se trata de quão forte pode ser atingido e continuar seguindo em frente. É assim que a vitória é conquistada”.

(Rocky Balboa)

RESUMO

O estudo fundamenta-se em uma revisão integrativa da literatura que analisou, concomitantemente, modelos matemáticos de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, situando-se em uma abordagem interdisciplinar. Devido ao caráter tecnológico, a pesquisa foi conduzida por meio da metodologia *Design Science Research*, com o objetivo de avaliar teórica e experimentalmente o efeito combinado dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem. Apesar de modelos individuais para o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem serem amplamente explorados na literatura aberta, a relação entre suas concepções foi alvo do presente trabalho, onde a curva de aprendizagem pôde ser obtida a partir da integração de modelos fenomenológicos de fluxo de conhecimento. De posse de modelos quantitativos, o efeito do ambiente foi representado por indicadores de análise, sendo o primeiro responsável pela perda de fluxo de conhecimento (φ_s), e o segundo a eficiência de aprendizagem (η_a), que, por sua vez, estima de forma determinística, o impacto combinado dos agentes estressores (e.g., temperatura, ruído, iluminância e nível de dióxido de carbono) sobre o desempenho dos ocupantes através do tempo dispendido em uma determinada atividade em comparação à mesma atividade sendo realizada em um ambiente ideal de referência. Para extrair evidências experimentais, uma sala capaz de variar os níveis dos agentes estressores foi construída. O planejamento experimental foi realizado através do método DoE (*Design of Experiments*), englobando oito ensaios em dois níveis de temperatura, ruído, iluminância e CO₂ com cinco dimensões de análises (e.g., escrita, experimento, leitura, uso do computador e conversação), totalizando quarenta ensaios com significância validada estatisticamente. Por meio da análise de sensibilidade dos coeficientes extraídos do DoE, foi possível observar o efeito combinado entre as variáveis independentes, ao ponto que a presença de agentes estressores em pares atenuou o efeito de um agente individual, e a presença de todos os agentes analisados acabou por amplificar os efeitos individuais. Nesse sentido, o ruído apresentou o maior impacto individual, seguido da temperatura e iluminância. Além disso, os agentes estressores apresentaram impactos distintos a depender do tipo de atividade realizada, por sua vez, classificadas por diferentes dimensões de análise. Mais adiante, foram avaliadas 24 salas que compunham diferentes equipes de projeto, tipos de experimentos e máquinas utilizadas em uma unidade Embrapii. Em cada sala foi possível avaliar a parcela de degradação causada pelos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem. Em termos práticos, o maior valor de perda de fluxo observado foi da ordem de 35 %, o que representa 21 min de tempo perdido em uma atividade com duração de 1 h. Logo, ao final de um turno de 8 h, 2,8 horas de trabalho seriam perdidas devido à influência dos agentes estressores presentes no ambiente. Ainda, as salas analisadas foram classificadas através de uma nova métrica estabelecida nesta pesquisa com escala que varia entre A⁺⁺⁺ e B, sendo que classificação A⁺⁺⁺ representa uma sala com perdas de eficiência de aprendizagem até 5%. Salas com perdas de eficiência de aprendizagem maiores que 40 % foram classificadas como B, e salas com um percentual maior que 50 % foram classificadas como imprópria para o desenvolvimento de atividades de aprendizagem e inovação. Finalmente, através dos indicadores quantitativos propostos nesse trabalho, foi possível propor melhorias na qualidade ambiental das salas por meio do mapeamento das perdas de conhecimento, e, conseqüentemente, no aumento do desempenho dos ocupantes, o que impacta diretamente nos indicadores da organização.

Palavras-chave: Fluxo de Conhecimento. Curva de aprendizagem. Ambientes de ensino e inovação. Agentes estressores.

ABSTRACT

The study is based on an integrative literature review that analyzed, at the same time, mathematical models of knowledge flow and learning curve, taking an interdisciplinary approach. Due to the technological nature, the research was conducted using the Design Science Research methodology, with the main goal of theoretically and experimentally evaluate the combined effect of stressors agents on the knowledge flow and the learning curve. Although individual models for the knowledge flow and learning curve are widely explored in the open literature, the relationship between their conceptions was a subject of the present work, where the learning curve could be obtained from the integration of phenomenological models of knowledge flow. Once quantitative models were taken into account, the effect of the environment was represented by analysis indicators, the first being responsible for the loss of knowledge flow (φ_s), and the second the learning efficiency (η_a), which, in turn, estimates of deterministically, the combined impact of the stressor agents (*e.g.*, temperature, noise, illuminance, and carbon dioxide level) on occupants performance over the time spent in a given activity compared to the same activity being performed in an ideal reference environment . In order to extract experimental evidence, a room capable of varying the levels of the referred stressor agents was built. The experimental planning was carried out using the DoE (Design of Experiments) method, encompassing eight tests at two levels of temperature, noise, illuminance and CO₂ with five dimensions of analysis (*e.g.*, writing, experiment, reading, computer usage and conversation), summing up forty experiments with statistically validated significance. Through the sensitivity analysis of the coefficients extracted from the DoE, it was possible to observe the combined effect between the independent variables, to the point that the presence of stressors in pairs attenuated the effect of an individual agent, and the presence of all agents analyzed ended up for amplifying individual effects. In this sense, noise presented the greatest individual impact, followed by temperature and illuminance. In addition, it was precepted that the stressor agents had different impacts depending on the type of activity performed, in turn, classified by different dimensions of analysis. Further else, 24 rooms that made up different project teams, types of experiments and machines used in an Embrapii unit were evaluated. In each room, it was possible to assess the amount of degradation caused by stressors on the knowledge flow and the learning curve. In practical terms, the highest value of flow loss observed round about 35 %, which represents 21 min of time lost in an activity lasting 1 h. Therefore, at the end of an 8-hour shift, 2.8 hours of work would be lost due to the influence of stressors present in the environment. Furthermore, the analyzed classrooms were classified using a new metric established in this research with a scale that varies from A⁺⁺⁺ to B, with classification A⁺⁺⁺ representing a classroom with losses of learning efficiency up to 5 %. Rooms with learning efficiency losses greater than 40 % were classified as B, and rooms with a percentage greater than 50 % were classified as inappropriate for the development of learning and innovation activities. Finally, through the quantitative indicators proposed in this work, it was possible to propose improvements in the environmental quality of the ambient through the mapping of knowledge losses, and, consequently, in the increase of the occupants' performance, which directly impacts the organization's indicators.

Keywords: Knowledge Flow. Learning curve. Teaching and innovation environments. Stressor agents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de publicações de trabalhos por ano envolvendo o impacto do ambiente na curva de aprendizagem e fluxo de conhecimento.....	8
Figura 2 – Número de publicações de patentes por ano envolvendo qualidade do ambiente, fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem.....	8
Figura 3 – Pirâmide do conhecimento.....	13
Figura 4 – Diagrama de Shannon.	14
Figura 5 – Representação dos fluxos de conhecimento.....	15
Figura 6 – Diagrama de fluxo linear.....	20
Figura 7 – Compartilhamento e discussão do conhecimento.	22
Figura 8 – Modelo referencial de Fluxo de Conhecimento no SRI.....	25
Figura 9 – Interface do <i>Virtual Design Team</i> (VDT).	30
Figura 10 – Ferramenta de planejamento de fluxo do conhecimento.....	31
Figura 11 – Interface da simulação com dados do fluxo.....	32
Figura 12 – Interface CPNs Tools.	34
Figura 13 – Modelo básico do fluxo de conhecimento organizacional.	35
Figura 14 - Curva de aprendizagem.	42
Figura 15 – A condução da <i>Design Science Research</i>	48
Figura 16 – Efeito dos agentes estressores entre o ponto emissor e receptor.....	49
Figura 17 – Dimensões de análise da pesquisa.	53
Figura 18 – Composição do instrumento.....	54
Figura 19 – Sistema supervisorio.	56
Figura 20 – Ferramenta FPI.....	57
Figura 21 – Sensor de temperatura DS18B20.	58
Figura 22 – Sensor de ruído.....	58
Figura 23 – Sensor de luminosidade.	59
Figura 24 – Sensor de CO ₂	59
Figura 25 – Monitoramento da concentração de CO ₂	63
Figura 26 – Monitoramento da luminosidade.	64
Figura 27 – Monitoramento do ruído.	65
Figura 28 – Monitoramento da temperatura.	66
Figura 29 - Elementos EOE.....	68

Figura 30 – Processo de inovação industrial Polo.....	70
Figura 31 – Sala 1.....	72
Figura 32 – Sala 2.....	73
Figura 33 – Sala 3.....	73
Figura 34 – Sala 4.....	74
Figura 35 – Sala 5.....	75
Figura 36 – Aplicação do instrumento em fase funcional.....	76
Figura 37 – Ambiente controlado.....	81
Figura 38 – Dimensões de análise.....	82
Figura 39 – Matriz DoE.....	83
Figura 40 – Modelo conceitual.....	85
Figura 41 – Comparação entre as soluções matemáticas.....	89
Figura 42 – Comparação da curva de aprendizagem em um ambiente ideal e não-ideal (real).	95
Figura 43 – Análise de $x1trl$ para um nível de temperatura constante e ideal.....	100
Figura 44 – Análise de $x1trl$ para um nível de temperatura constante e 0,5.....	100
Figura 45 – Análise de $x1trl$ para um nível de temperatura constante e crítico.....	101
Figura 46 – Análise de $x1trl$ para diferentes níveis de temperatura.....	102
Figura 47 – Análise de $x1trl$ para um nível ideal de iluminância.....	103
Figura 48 – Análise de $x1trl$ para iluminância constante em três níveis.....	103
Figura 49 – Análise de sensibilidade dos coeficientes das variáveis independentes.....	105
Figura 50 – Método de classificação L.E.W.....	110
Figura 51 – Avaliação das fontes de irreversibilidades externas.....	112
Figura 52 – Mapa de eficiência de aprendizagem da Unidade Embrapii Polo.....	113
Figura 53 – Avaliação das irreversibilidades combinadas.....	114
Figura 54 – Dimensões de análise dos <i>knowledge nodes</i>	115
Figura 55 – Ambiente de simulação.....	116
Figura 56 – Representação esquemática do ato inventivo.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Correlação entre transferência de calor e conhecimento.....	23
Quadro 2 – Síntese dos modelos	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das características dos modelos de curvas de aprendizado univariados.	42
Tabela 2 – Faixas de Medição e precisão dos sensores.....	60
Tabela 3 – Incertezas de medição das variáveis.....	62
Tabela 4 – Planejamento experimental.	80
Tabela 5 – Incertezas de medição das variáveis.....	107
Tabela 6 – ANOVA.....	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PPGEGC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento

EGC – Engenharia e Gestão do Conhecimento

LEW – Learning Efficiency Workspace

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial

POLO – Laboratório de Pesquisa em Refrigeração e Temofísica

KPIs – Key performance indicators

PKF – Fluxos de Conhecimento Percebidos

CFD – Computational Fluid Dynamics

CKF – Fluxo de conhecimento consolidado

MEC – Ministério da Educação

UE – Unidade Embrapii

VDT – Virtual Design Team

CPN – Colored Petri Net

KF – Fluxo de conhecimento

KN – Nó do Conhecimento

KE – Energia do Conhecimento

GC – Gestão do Conhecimento

PN – Petri Net

LISTA DE SÍMBOLOS

C : *conhecimento*

C_i : *conhecimento inicial em uma determinada atividade*

C_{max} : *conhecimento máximo atingido em uma determinada atividade*

\dot{C} : *fluxo de conhecimento*

\dot{C}_{ideal} : *fluxo de conhecimento ideal*

\dot{C}_{real} : *fluxo de conhecimento real*

K_s : *efeito das irreversibilidades internas (intrapessoal) e externas (ambiente)*

K_s^{ideal} : *efeito combinado das irreversibilidades do sistema ideal*

K_s^{real} : *efeito combinado das irreversibilidades do sistema real*

K^{amb} : *efeito das irreversibilidades externas (ambiente)*

$K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$: *efeito das irreversibilidades internas (intrapessoal)*

t : *tempo*

τ : *constante de tempo*

τ_{ideal} : *constante de tempo (ideal)*

τ_{real} : *constante de tempo (real)*

η_a : *eficiência de aprendizagem*

φ_s : *indicador de perda de fluxo de conhecimento (ou de tempo)*

x_1^{trl} : *efeito combinado de temperatura, ruído e iluminância*

x_2^{dc} : *efeito da concentração de CO_2 no ambiente*

αx_3^{exp} : *fator do conhecimento explícito e recursos tecnológicos no ambiente*

α : *fator que pondera o peso do x_3^{exp} para cada ambiente ou organização*

y_i : *fatores que influenciam o desempenho da aprendizagem do indivíduo*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA.....	1
1.2	OBJETIVOS	5
1.2.1	Objetivo geral.....	6
1.2.2	Objetivos específicos.....	6
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA TESE	6
1.3.1	Contribuição científica	6
1.3.2	Contribuição para unidade Embrapii	7
1.3.3	Originalidade	7
1.4	ADERÊNCIA AO PPGEGC	10
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1	FLUXO DE CONHECIMENTO.....	12
2.1.1	Modelos de fluxo de conhecimento.....	18
2.1.2	Técnicas e ferramentas para análise do fluxo de conhecimento	29
2.2	CURVA DE APRENDIZAGEM	37
3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	44
3.1	ABORDAGEM CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA	44
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA - DSR.....	45
3.2.1	Identificação do problema e motivação	49
3.2.2	Definição dos objetivos voltados a solução	51
	Objetivo geral da solução.....	51
	Objetivos específicos.....	51
3.2.3	Projeto e desenvolvimento do modelo.....	51

3.2.4	Demonstração em ambiente relevante	54
3.2.4.1	<i>Instrumento de medição dos agentes estressores</i>	54
3.2.4.2	<i>Testes preliminares para avaliar a qualidade da medição</i>	62
3.2.4.3	<i>Demonstração do modelo</i>	66
3.2.4.4	<i>Unidade Embrapii POLO</i>	70
3.2.5	Comunicação da Pesquisa	77
4	DESENVOLVIMENTO DO MODELO	79
4.1	ELABORAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	79
4.2	APRESENTAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	84
4.3	DEMONSTRAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO.....	85
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	98
5.1	ANÁLISE MSR DOS AGENTES ESTRESSORES.....	98
5.1.1	Análise MSR para temperatura constante	99
5.1.2	Análise MSR para iluminância constante	102
5.1.3	Síntese dos efeitos individuais e combinados dos agentes estressores	104
5.1.4	Análises de variância do experimento	106
5.2	CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DOS AMBIENTES.....	109
5.2.1	Métrica de classificação da qualidade do ambiente	109
5.2.2	Classificação da qualidade do ambiente	111
5.2.3	Análise da eficiência de aprendizagem em cinco dimensões	114
5.2.4	Ambiente de simulação computacional	116
5.2.5	Proposta de ato inventivo	117
6	COMENTÁRIOS FINAIS	119
6.1	CONCLUSÃO.....	119
6.2	TRABALHOS FUTUROS	125

REFERÊNCIAS	127
APÊNDICE A – PROCEDIMENTO DE INTEGRAÇÃO DO FLUXO DE CONHECIMENTO	134
APÊNDICE B – RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	135
APÊNDICE C – FATORES A SEREM AVALIADOS DOS INDIVÍDUOS.....	159
ANEXO A – CARTA DE LIBERAÇÃO DA UNIDADE EMBRAPII.....	166

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA

É notório que, historicamente, estamos vivendo em uma nova sociedade, chamada de Sociedade do Conhecimento. Nela, o principal recurso é o conhecimento, que deixa de ser apenas um insumo pessoal e passa a ser um recurso estratégico no desenvolvimento das organizações (DAVID & FORAY, 2002). Dada a importância desse recurso, parâmetros quantitativos representados pela análise do fluxo de conhecimento desempenham um papel fundamental nas organizações de inovação, como é o caso da Embrapii¹ (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial). Entretanto, avaliar a inter-relação da influência de agentes estressores² encontrados no ambiente físico com as perdas de conhecimento e constatar oportunidades de otimização no fluxo de conhecimento ainda é uma tarefa complexa. Estudos sobre a análise do fluxo de conhecimento são amplamente encontrados na literatura, porém para diferentes domínios de aplicação. No domínio organizacional, interesse desta pesquisa, Ilovici e Hochanadel (2003) propuseram um modelo de análise do fluxo de conhecimento no âmbito de uma organização com um time de gerenciamento de projetos. Entretanto, o único fator relacionado aos efeitos causados pelo ambiente foi a distância entre o emissor e o receptor. Semelhante ao modelo anterior, Huang (2007) propôs um modelo de fluxo de conhecimento aplicado em comunidades de prática. Novamente, o único fator relacionado aos efeitos causados pelo ambiente foi a distância entre o emissor e o receptor. Posteriormente, outros estudos propostos por Bulnes (2006), Bevilacqua *et al.* (2010) progrediram no estudo sobre modelos de fluxo de conhecimento trazendo a inclusão de novos coeficientes para avaliar a distância e a posição espacial. Contudo, a revisão da literatura que será abordada com maior profundidade no capítulo 2 aponta que não existem modelos de análise que permitam avaliar os efeitos dos agentes estressores presentes no ambiente de trabalho sobre o fluxo de conhecimento e conseqüentemente sobre o desempenho dos ocupantes.

¹ Mais detalhes sobre o modelo de negócio / unidade Embrapii podem ser abordados no capítulo 3, seção 3.2.9.

² Principais tipos de agentes estressores na dimensão ambiental organizacional: temperatura, ruído, iluminância, umidade e CO₂, segundo Ames e Staub (2012); Chiavenato (2004); Carvalho e Silva (2018). Também descrito em <https://pt.conscienciopedia.org/index.php/Parapedagogia>.

Audrey Kaplan & Stan Aronoff (1996) afirmaram que há um entendimento comum de um ambiente de trabalho que deve ser desenvolvido, a partir da necessidade de planejar, coordenar e administrar as atividades realizadas naquele espaço. Mais adiante, Oblinger (2006) delinea que ambientes de aprendizagem e inovação eficazes devem oferecer aos ocupantes melhores oportunidades de alcançar seu máximo potencial como aprendizes. Logo, o máximo potencial dos aprendizes não depende somente de seu conhecimento inicial, taxa de aprendizagem ou da motivação do emissor em transmitir conhecimento, mas também da qualidade de todo ambiente circundante.

A relevância deste tema também é reafirmada por Lippman (2010), em seu trabalho publicado na CELE (*Centre effective learning environments*), que explora o seguinte questionamento: *Can the physical environment have an impact on the learning environment?* Segundo o autor, é preciso entender o valor de criar ambientes de aprendizagem que não sejam apenas esteticamente agradáveis, mas que também atendam níveis aceitáveis para os indicadores de qualidade de forma mais categórica, baseada em análises fundamentadas. Ainda, segundo o autor, a realização de experimentos e comprovação científica se faz necessária, no sentido da orientação e/ou auxílio de profissionais como *designers* e arquitetos, na elaboração de projetos de salas adequadas, direcionados a ambientes de aprendizagem e inovação, tomando como prioridade o desempenho dos ocupantes. É importante ressaltar que, atualmente, as análises dos agentes estressores realizadas nos referidos ambientes estão mais centradas em estabelecer limites referentes a segurança dos ocupantes, regulamentadas através de diretivas estabelecidas pelas normas do Ministério do Trabalho e Emprego: NR-15³ e NR-17⁴, bem como as normas técnicas da ABNT: NBR 10152 e NBR ISO/CIE 8995-1. Ainda, nesta direção, o GBC (*Green Building Council Brazil*) faz parte de um movimento global, presente em 80 países, com o propósito de promover trabalhos multidisciplinares que corroboram com a análise

³ A NR-15 estabelece as atividades que devem ser consideradas insalubres, gerando direito ao adicional de insalubridade aos trabalhadores. É composta de uma parte geral e mantém 13 anexos, que definem os Limites de Tolerância para agentes estressores, químicos e biológicos, quando é possível quantificar a contaminação do ambiente, ou listando ou mencionando situações em que o trabalho é considerado insalubre qualitativamente (MTP, 2022).

⁴ Caracterizada como Norma Geral pela Portaria SIT nº 787, de 28 de novembro de 2018, a redação da NR-17 estabelece parâmetros para permitir a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores (MTP, 2022).

adequada de conforto térmico, acústico, luminoso e qualidade do ar interior a fim de combater a síndrome dos edifícios doentes.

Dentro da abordagem normativa, Passari (2014) realizou uma análise do ruído, temperatura e iluminância dentro de uma universidade pública. A análise se restringiu ao monitoramento das variáveis, onde o autor avaliou a concordância dos valores aferidos nas medições com os limites de segurança impostos pelas normas vigentes. O autor identificou que alguns ambientes se encontravam fora dos limites aceitáveis, o que poderia prejudicar a saúde dos ocupantes. Contudo, as normas apenas estabelecem os limites inferior e superior dos agentes estressores, não contemplando uma avaliação categórica com relação ao fluxo de conhecimento ou desempenho dos ocupantes. Na mesma direção, Lucas (2020) buscou analisar a influência das variáveis ambientais (além da percepção ambiental) no desempenho de estudantes universitários em ambientes de ensino climatizados, em diferentes regiões brasileiras. Apesar de ter um caráter experimental, a temperatura do ar foi a única variável manipulada durante o experimento, enquanto que as variáveis acústicas, lumínicas e de qualidade do ar não foram controladas. Como conclusão, o autor constatou maior insatisfação e perda de desempenho dos estudantes para temperaturas mais elevadas.

Para Kamarulzaman *et al.* (2011), muitas vezes assume-se que os ocupantes que estão mais satisfeitos com o ambiente físico são mais propensos a produzir melhores resultados no trabalho. Lan *et al.* (2011) afirmam que um ambiente de trabalho eficiente e propício é um fator vital e requisito fundamental para que os ocupantes desempenhem suas atividades de forma mais eficaz. O autor relata ainda que a qualidade do ambiente interno tem efeito significativo sobre o conforto dos ocupantes, e sua produtividade ou desempenho na realização de uma determinada tarefa, pontuando que a determinação do ponto ótimo da qualidade do ambiente ainda é uma incógnita. Desta forma, avaliar a influência dos agentes estressores do ambiente e seus efeitos combinados pode trazer diversos benefícios para a organização.

Entre os agentes estressores que mais afetam o desempenho cognitivo, memória de trabalho e produtividade, pode-se destacar a temperatura, ruído e iluminação (De Been *et al.*, 2014). Segundo Lee *et al.* (2022), outro fator importante nessa análise é a concentração de dióxido de carbono presente no ambiente. Nessa linha, o estudo de Garcia Neto *et al.* (2019) avaliou diferentes níveis de concentração de CO₂ em uma sala de aula. Os autores chamam a atenção para valores que ultrapassaram o limite normativo recomendado de mil partes por milhão (ppm), valor que indica a necessidade de renovação do ar da sala durante a aula, mesmo

com capacidade parcial de ocupação. Ainda, segundo os autores, um excesso de concentração de CO₂, com valores em torno de 1.600 ppm, pode comprometer a qualidade da aula ministrada, assim como o aprendizado por parte dos alunos, que tendem a perder a concentração e se dispersar mais facilmente. Para confirmar a hipótese relacionada ao efeito do CO₂ sobre o desempenho cognitivo e desempenho dos ocupantes, Lee *et al.* (2022) publicaram um estudo que avaliou esses efeitos através de respostas neurais. Os autores concluem que o aumento de concentração de CO₂ afeta seriamente atividades relacionadas ao lobo central. Logo, a produtividade, memória de trabalho, bem como efeitos visuais, também são afetados. Satish *et al.* (2012) já alertavam sobre os efeitos diretos de concentrações baixas a moderadas de CO₂ no desempenho humano relacionado a tomada de decisão. Os autores verificaram uma diminuição significativa do desempenho dos colaboradores na tomada de decisão com o aumento do nível de CO₂, através de testes nos níveis de 600, 1.000 e 2500ppm, com efeito mais significativos no último intervalo.

Estudos conduzidos por Lorsch e Abdou (1994) avaliaram o impacto da temperatura ambiente. De acordo com os autores, os funcionários sentem que seu espaço de trabalho se torna mais confortável, com um aumento de até 15% na produtividade quando ar condicionado da sala é ligado. Com caráter mais específico, a literatura indica que a produtividade diminui cerca de 2% para cada grau acima de 25°C. Apesar dos estudos conduzidos por Lorsch e Abdou focarem em apenas um fator, fica claro que há uma influência da temperatura sobre o desempenho do trabalhador.

Fisk *et al.* (2012) relatam em seu trabalho que a diminuição dos impactos dos agentes estressores não está apenas relacionada a melhoria na produtividade dos ocupantes, mas também nos lucros que podem ser gerados para organização. Em tempos de informação e conhecimento cada vez mais célere, todo ambiente de inovação deve implementar as mais modernas práticas para fomentar a inovação e criatividade na organização, seja mediante a adição de recursos tecnológicos ou adequação do espaço físico. Entretanto, se o próprio ambiente de aprendizagem não for propício, não será possível exigir rapidez e eficiência nos mecanismos de transferência de conhecimento, culminando em uma diminuição do fluxo de conhecimento, e, conseqüentemente, uma penalização na curva de aprendizagem dos ocupantes, o que pode impactar diretamente os prazos de entregas das atividades que estão intimamente conectados aos lucros da organização.

Na visão de Radovan *et al.* (2015), o ambiente passou a ser, de alguma maneira, determinado pela percepção dos indivíduos que agem sobre ele, o que estaria intensamente relacionado com o seu resultado de aprendizagem. Assim como a aprendizagem, o ambiente não é um conceito unidimensional, uma vez que existem múltiplas dimensões que devem ser entendidas sistematicamente, a fim de captar a verdadeira natureza da relação entre essas duas dimensões, bem como suas influências sobre os indivíduos (SILVA, 2020). Em outras palavras, antes de aplicar qualquer estudo nesse sentido, é preciso definir bem o sistema e a dimensão a ser analisada, devido à complexidade do problema. Como alternativa, o entendimento do sistema pode ser simplificado quando o mesmo é interpretado sob uma ótica fragmentada, ou seja, em subsistemas que interagem entre si de forma dinâmica.

A contextualização apresentada aponta, através de estudos recentes na literatura, a importância da compreensão do impacto dos agentes estressores sobre o desempenho dos ocupantes, sobretudo em um ambiente de inovação e aprendizagem. Modelos analíticos determinísticos para o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, considerando os agentes estressores, podem ser capazes de expressar, de forma quantitativa, o impacto dos agentes estressores dentro de uma organização, de modo a identificar oportunidades de otimização nas mais diversas classes de ambiente. Para tanto, a aplicação de modelos conceituais e matemáticos de caráter interdisciplinar se faz necessária, através da interrelação de conhecimentos específicos de cada área, de modo que se possa fornecer uma perspectiva sistêmica e consistente para o entendimento e solução do problema.

Com esse panorama em voga, nesta pesquisa optou-se por estudar a dimensão física do ambiente, mais especificamente os agentes estressores presentes no mesmo, aqui interpretados como irreversibilidades externas (*e. g.*, temperatura, ruído, iluminância e CO₂), a fim de responder a seguinte pergunta de pesquisa: **Como os agentes estressores afetam o fluxo de conhecimento e, conseqüentemente, a curva de aprendizagem, em um ambiente organizacional?**

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção serão expostos o objetivo geral e os específicos da tese.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar teórica e experimentalmente o efeito combinado dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem.

1.2.2 Objetivos específicos

- i.* Elaborar um modelo matemático para medir o efeito dos agentes estressores do ambiente sobre o fluxo de conhecimento;
- ii.* Avaliar a relação entre fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem;
- iii.* Desenvolver um instrumento para viabilizar a implementação do modelo proposto;
- iv.* Aplicar o modelo para mapear os efeitos dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem em uma unidade Embrapii.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA TESE

1.3.1 Contribuição científica

Três vieses contributivos são passíveis de destaque: *(i)* contribuição científica: validação da hipótese através da prova experimental e desenvolvimento de métricas adequadas para perda de fluxo de conhecimento e eficiência de aprendizagem, de forma que esses indicadores levem a um aumento de produtividade na organização; *(ii)* contribuição tecnológica: desenvolvimento de um artefato projetado especificamente para esse tipo de análise, capaz de simular, monitorar, avaliar, classificar e controlar a qualidade do ambiente; e *(iii)* contribuição multidisciplinar: resolução do problema no sentido da orientação de profissionais de outras áreas do conhecimento, considerando o impacto dos agentes estressores no projeto de novos ambientes. Por fim, através da análise proposta neste trabalho, foi possível introduzir melhorias na qualidade ambiental das salas por meio do mapeamento das perdas de fluxo de conhecimento, e, conseqüentemente, no aumento do desempenho dos ocupantes, o que impacta diretamente nos indicadores da organização.

1.3.2 Contribuição para unidade Embrapii

Conforme elucidado anteriormente, o modelo de negócio Embrapii exige como indicador principal a agilidade nas entregas dos projetos. Para tanto, os membros das equipes de projetos e o próprio ambiente laboratorial devem funcionar em plena consonância. Para que isso ocorra, o resultado da pesquisa consiste no desenvolvimento de uma análise, através do modelo de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, que permita um diagnóstico da organização, apontando os principais fatores passíveis de correção através de uma classificação dos ambientes. A partir dessa análise, serão identificados os pontos críticos relacionados aos ambientes de trabalho que influenciam de alguma maneira no fluxo de conhecimento e na curva de aprendizagem dos profissionais que atuam na organização. Já a perspectiva apresentada por novos indicadores de perda de fluxo de conhecimento, eficiência de aprendizagem e de tempo despendido nas atividades, podem gerar uma visão mais detalhada do ambiente de forma quantitativa, fornecendo subsídio para a identificação de oportunidades de melhoria pontual, dando agilidade nas entregas dos projetos de inovação, e consequentemente gerando lucros diretos para unidade Embrapii.

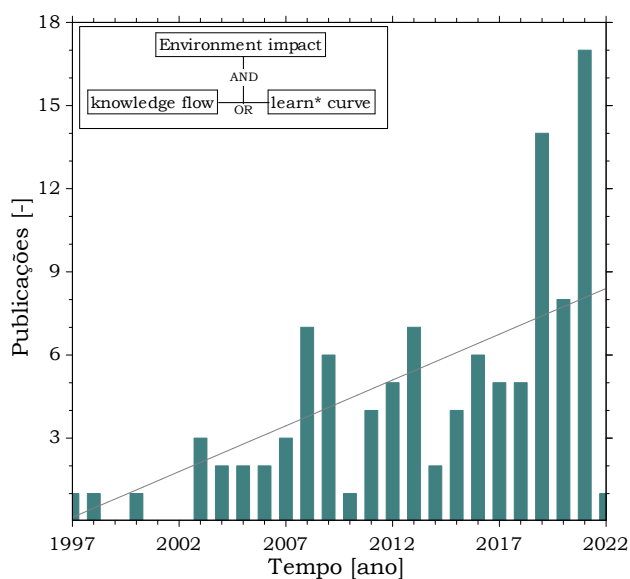
1.3.3 Originalidade

A originalidade do tema da pesquisa a ser analisado é um dos critérios mais relevantes no desenvolvimento de uma tese de doutorado, caracterizando-se como exigência. Esse grau de ineditismo e complexidade deve superar superficialidades, avalizando a contribuição científica e social de um tema que ainda não foi mapeado pela ciência (SILVA, 2019). Com esse entendimento, três aspectos podem ser destacados com respeito à originalidade do trabalho, conforme segue:

- i. **Tema da pesquisa:** “Análise teórica e experimental do efeito combinado dos agentes estressores em um ambiente de inovação através do acoplamento dos modelos matemáticos do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem”. A revisão integrativa da literatura, e de patentes relacionadas, serve como subsídio na comprovação da originalidade do tema. A revisão integrativa da literatura contou com uma etapa sistemática e uma etapa de revisão baseada na metodologia *snowballing*, a fim de ampliar a cobertura da revisão. A Figura 1 apresenta o número de publicações

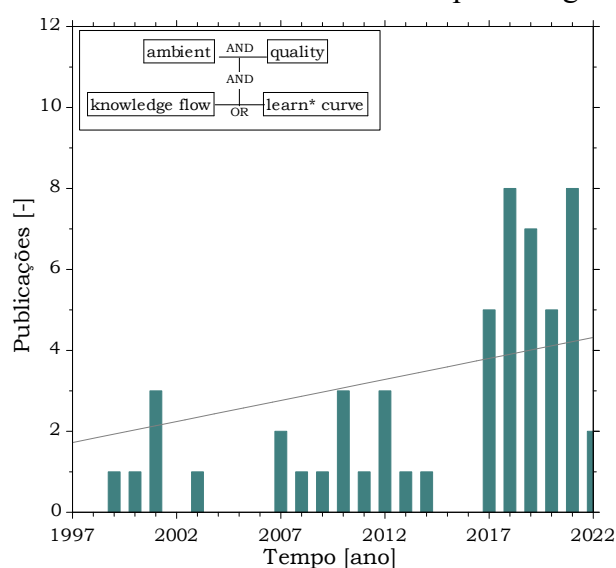
relacionadas ao tema em função do tempo, indicando um aumento expressivo nos últimos anos para pesquisas relacionadas ao tema em voga. No entanto, nenhum estudo analisado contempla o objetivo proposto nesta tese, considerando o efeito combinado dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento. Apesar disso, a revisão trouxe excelentes contribuições e *insights* para o aperfeiçoamento desta pesquisa.

Figura 1 – Número de publicações de trabalhos por ano envolvendo o impacto do ambiente na curva de aprendizagem e fluxo de conhecimento.



Fonte: Do autor.

Figura 2 – Número de publicações de patentes por ano envolvendo qualidade do ambiente, fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem.



Fonte: Do autor.

De forma complementar, também não foram verificadas patentes abordando os objetivos propostos nesta pesquisa, embora a Figura 2 aponte um crescente desenvolvimento de modelos de utilidade e registro de atos inventivos nos últimos anos relacionando a qualidade do ambiente ao fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem. Por conseguinte, o método e o artefato propostos neste estudo foram encaminhados via SINOVA/UFSC (Secretaria de Inovação) para o INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) para formalização do registro de propriedade intelectual.

- ii.* **Artefato e aparato experimental:** o objetivo principal dessa etapa do trabalho consiste basicamente em realizar a demonstração do funcionamento do artefato em um ambiente relevante, atuando como materialização da análise. Conforme elucidado anteriormente, o ambiente conta com uma equipe de desenvolvimento de projetos na área de inovação industrial. De acordo com Peffers *et al.* (2007), existem algumas formas de realizar essa etapa do trabalho, resolvendo uma ou mais instâncias do problema por meio de um experimento, simulação, estudo de caso, prova formal ou outra atividade apropriada. Nesse sentido, a metodologia adotada para resolver as instâncias do problema contou com o desenvolvimento de um planejamento experimental. Ainda, diferentemente de outros trabalhos na literatura, que buscam explorar mais o efeito individual de cada variável presente no ambiente, esta tese apresenta uma análise combinada dos agentes estressores através do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem. Para tanto, um aparato experimental capaz de controlar e alterar os valores das variáveis de interesse dentro do espaço avaliado foi construído. Tanto o instrumento, composto por *software e hardware*, quanto o aparato experimental, desenvolvido especificamente para este estudo, corroboram com a originalidade desta pesquisa.
- iii.* **Ambiente de aplicação:** também com relação ao estudo sobre modelos de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem no contexto de um ambiente de ensino e inovação, nesse caso uma unidade Embrapii, constatou-se que não há pesquisas que avaliam os fatores que influenciam o impacto do ambiente sobre o fluxo de

conhecimento e curva de aprendizagem, nem como essas duas variáveis respondem à ação combinada dos agentes estressores considerando sua inter-relação.

1.4 ADERÊNCIA AO PPGEGC

O PPGEGC (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento) tem por desígnio principal a concepção e desenvolvimento de pesquisas onde o conhecimento é o objeto enquanto “produto, processo e resultado de interações sociais e tecnológicas entre agentes humanos e tecnológicos” (UFSC, 2004). Nesse quadro, a presente pesquisa enquadra-se no PPEGC, na área de Engenharia do Conhecimento, dentro das linhas de pesquisa de: modelagem e representação do conhecimento, inovação e sustentabilidade.

A pesquisa apresenta em sua essência uma concepção interdisciplinar que também deriva do programa de Pós-Graduação da Engenharia e Gestão do Conhecimento. Sendo assim, ao perseguir a solução do problema proposto, usou-se de uma abordagem interdisciplinar, que faz uso dos conceitos de diferentes áreas na solução de um problema comum, através de analogias e conceitos fundamentais advindos de áreas de concentração distintas, tais como: Engenharia do Conhecimento, Gestão do Conhecimento, Arquitetura, Controle de processos, Engenharia Mecânica, Termofísica, Acústica, etc. De forma suplementar, a interdisciplinaridade é evidenciada novamente na materialização dos conceitos desenvolvidos ao longo do tratamento, servindo como esteio no entendimento e desenvolvimento de *hardware* e *software* para o monitoramento da curva de aprendizagem e fluxo de conhecimento nos ambientes avaliados. Através dessa constatação, um caminho interdisciplinar com diversos olhares e pressupostos sobre os constructos serviu de base para o desenvolvimento dessa tese. Ainda, esse aspecto proporciona uma melhor compreensão da realidade, repercutindo em uma maior articulação entre os domínios das ciências (naturais) e do conhecimento (artificial). Portanto, é de comum acordo na literatura que a interdisciplinaridade ocupa um papel significativo no avanço da ciência no que diz respeito a estudos complexos que não devem ser incumbidos a uma só disciplina do conhecimento (SILVA, 2019).

A seguir, lista-se alguns autores e seus trabalhos apresentados no PPEGC, a fim de ilustrar trabalhos relacionados com a temática do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem. Destacam-se Kurtz (2011), Labiak (2012) e Bittarello (2014) que despontam importantes contribuições relacionados ao estudo sobre fluxo de conhecimento. Kurtz (2011),

em sua dissertação intitulada “Fluxo de conhecimento interorganizacional: aspectos relacionados à cadeia suinícola Brasileira”, propõe práticas para a gestão do conhecimento, como alternativas ao incremento dos fluxos e capacidades de acumulação de conhecimento. Labiak (2012), propõe um método de análise dos fluxos de conhecimento no SRI (Sistema Regional de Inovação). O autor tomou como base alguns modelos de fluxo de conhecimento dispostos na literatura aberta para propor o PKF (Fluxo de Conhecimento Percebido), proporcionando o mapeamento e análise dos devidos fluxos no SRI. Bittarello (2014), observou uma associação positiva entre o fluxo de conhecimento e a interação promovida pelas redes de empresas de bases tecnológicas da Associação Catarinense de Tecnologia (ACATE, 2007). Já com relação a análise da curva de aprendizagem, pode-se destacar o trabalho realizado por Silva (2019), no PPEGC. A autora explorou em sua tese uma pesquisa interdisciplinar sobre curva de aprendizagem tendo como título: “Um Framework Ponte TAP: gestão da curva de aprendizagem para a efetivação da transferência de aprendizagem para a prática do trabalho”, sendo finalizada em 2019.

Finalmente, é importante ressaltar que modelos para representação do conhecimento, bem como projetos de inovação, estão dentro da linha de pesquisa do núcleo IGTI - (Núcleo de Estudos em Inteligência, Gestão e Tecnologias para Inovação) onde desenvolvo meu doutoramento, atuando como pesquisador.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento desta tese foi dividido em seis capítulos: a primeira parte constitui-se de Introdução, Problema, Objetivos, Justificativa, Originalidade, Aderência ao EGC e a própria Estrutura da proposta. Na segunda seção, realiza-se uma revisão bibliográfica, tomando como ponto de partida o fluxo de conhecimento, visitando os modelos clássicos encontrados na literatura e terminando em uma avaliação das ferramentas de análise do mesmo, e, finalmente, é realizada uma revisão sobre modelos matemáticos de curva de aprendizagem. No terceiro capítulo são abordados os procedimentos metodológicos escolhidos para realizar a pesquisa. O quarto capítulo dispõe do desenvolvimento do artefato do tipo modelo. No quinto capítulo são apresentadas as análises dos principais resultados obtidos durante a pesquisa. No sexto e último capítulo, apresentam-se a conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção, realiza-se uma revisão bibliográfica, iniciando pelo fluxo de conhecimento, modelos de base fenomenológica para o fluxo de conhecimento, bem como as respectivas ferramentas de análise. Por fim, uma revisão sobre modelos de curva de aprendizagem.

2.1 FLUXO DE CONHECIMENTO

Ante as perspectivas apresentadas, a literatura dispõe de diferentes definições para o fluxo de conhecimento. Nissen (2002) defende que o fluxo de conhecimento se refere a um conhecimento dinâmico, representado por uma atividade de conversão, transferência, compartilhamento, e aplicação dele em uma escala de tempo. Zhuge (2002) explica que o fluxo de conhecimento pode ser definido como um processo de movimentação do conhecimento, partindo de uma fonte e se dirigindo a um receptor, com absorção e utilização.

Lin *et al.* (2012), definem fluxo de conhecimento de forma similar aos autores Nissen (2002) e Zhuge (2002), abordando as perspectivas epistemológicas cognitivista e autopoiética. Ainda, em consonância com o Junior *et al.* (2021), os autores estabelecem que fluxo de conhecimento é um processo de passagem de conhecimento entre as pessoas ou mecanismos de processamento de conhecimento.

Nissen (2002), alicerçado nos estudos desenvolvidos por Davenport e Prusak (1998), Nissen *et al.* (2000) e Von Krogh *et al.* (2000), conceitualizou a pirâmide do conhecimento, classificando-a em níveis cumulativos, de modo que cada nível serve de base para seu sucessor. A Figura 3 ilustra a pirâmide do conhecimento, onde, a título de exemplo, os dados são necessários para produzir informação. Esta, por sua vez, envolve mais do que apenas dados brutos (estes precisam estar, dentro do contexto, por exemplo), sendo imperativo estarem submetidos a uma organização. A ampla base da pirâmide representa a abundância de dados, mas não necessariamente de informação, menos ainda de conhecimento, em qualquer domínio particular, implicando que a largura da pirâmide em cada nível reflete a diminuição da abundância na progressão entre os dados até o conhecimento. Ainda, é possível afirmar que a informação é necessária para produzir conhecimento, mas o conhecimento envolve mais do que

apenas informação, operando em nível de ação, por exemplo (NISSEN, 2002), justificando sua posição perto do topo da pirâmide.

Figura 3 – Pirâmide do conhecimento.



Fonte: Nissen *et al.* (2000).

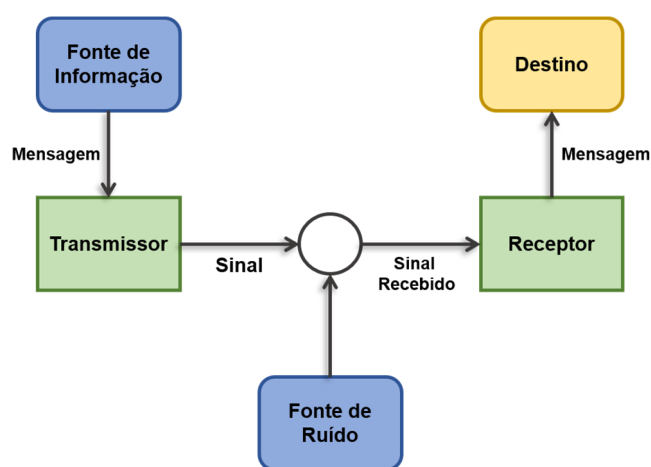
No que tange a informação, a teoria matemática da comunicação, desenvolvida por Claude Elwood Shannon e Warren Weaver, expõe a importância da eficiência do processo comunicativo para transmissão de mensagens de um ponto⁵ ao outro. O modelo de Shannon defende que um sistema de comunicação deve possuir os seguintes elementos: a fonte de informação, o transmissor, o canal, o receptor e o destino. A fonte de informação pode ser definida como a pessoa ou a máquina que gera a mensagem, a qual pode ser uma simples sequência de caracteres ou uma função matemática. O transmissor é responsável em difundir a mensagem por meio de um sinal, por exemplo, o telefone converte a pressão do som em corrente elétrica analógica. O canal é o meio utilizado para transmitir o sinal até o receptor, que

⁵ Ponto, nesse contexto, se refere à distância temporal ou de espaço da origem da mensagem ao seu destino.

decodifica a mensagem por meio do sinal recebido. Finalmente, o destino é definido como a pessoa ou a máquina que recebe a mensagem (GLEICK, 2011).

O diagrama de Shannon, representado pela Figura 4, ilustra os principais elementos do sistema de comunicação, ressaltando a importância do elemento denominado fonte de ruído. A fonte de ruído ou de interferência, representa todos acontecimentos, previsíveis e imprevisíveis, responsáveis por interferir o sinal ao longo do tempo. Por exemplo, perturbações aleatórias, adições indesejadas, interferência e/ou distorções. O autor distingue dois tipos de sistema para lidar com esse problema: discreto e contínuo. Em sistemas discretos, o sinal é codificado na forma de símbolos independentes, representados por caracteres ou pontos e traços. Em sistemas contínuos, o sinal deve ser amplificado para possibilitar a mensagem de chegar em seu destino, porém, amplificar o sinal causa o acúmulo de ruído. Sendo assim, a forma mais eficaz encontrada para solucionar o problema de ruído foi a mensagem ser codificada de forma discreta.

Figura 4 – Diagrama de Shannon.



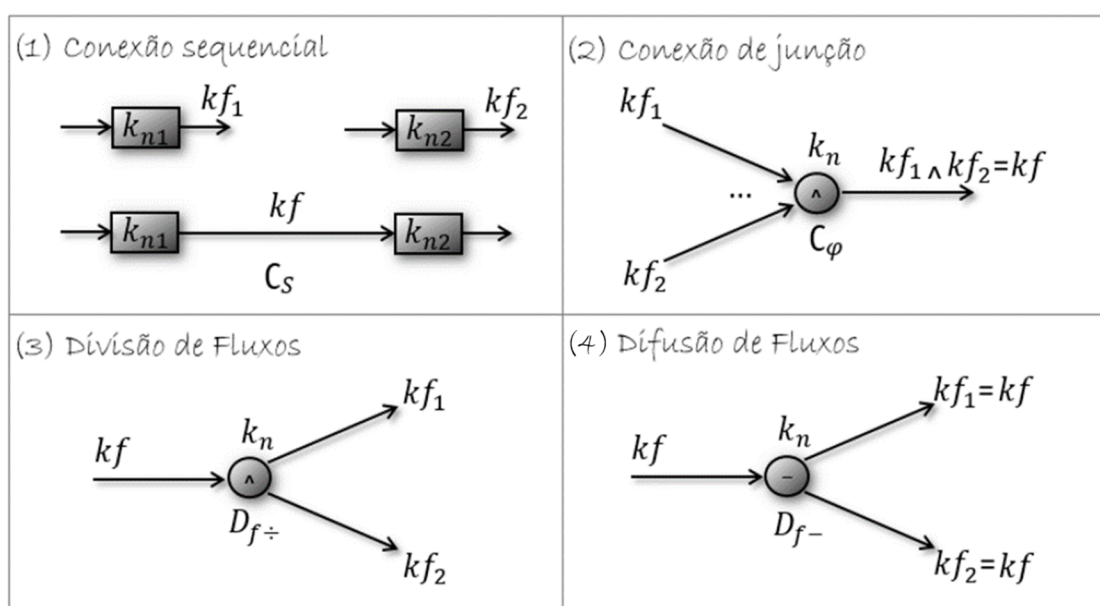
Fonte: Gleick (2011).

Em tempos de informação cada vez mais disponível, todo ambiente de trabalho exige rapidez e eficiência nos mecanismos de transferência de conhecimento, passando para o próximo nível da pirâmide. A produção e propagação de conhecimento em uma organização constitui o fluxo de conhecimento. Entende-se como fluxo de conhecimento a competência de permitir a transferência de capacidade e especialização, de onde reside para onde é necessário, ao longo do tempo (ZHUGE, 2006). De acordo com Nissen (2002) “a criação de conhecimento

envolve descoberta e desenvolvimento de novos conhecimentos”, ou seja, a constante criação do conhecimento torna o fluxo e transferência contínuos (NISSEN, 2002; ZHANG, YANG e LIU, 2008). As movimentações do conhecimento a partir de um emissor para um receptor, bem como a sucessiva internalização e utilização, definem o processo de fluxo do conhecimento.

Com relação à classificação dos tipos de fluxo de conhecimento existentes, Zhuge (2002) propõe quatro diferenças basilares, representadas pela Figura 5, sendo estas: (i) Conexão sequencial: de dois fluxos do conhecimento formando um fluxo; (ii) Conexão de junção: de dois ou mais fluxos convergindo em apenas um fluxo; (iii) Divisão dos fluxos: o fluxo pode ser dividido em dois ou mais fluxos de conhecimento; (iv) Difusão dos fluxos: o fluxo pode ser difundido em múltiplos fluxos de conhecimento. Onde kfi representa o fluxo de conhecimento, k_n o nó do conhecimento e C a conexão.

Figura 5 – Representação dos fluxos de conhecimento.



Fonte: Zhuge (2002).

O conteúdo do conhecimento transferido pelo fluxo é definido conforme o propósito da interação e o nível de conhecimento disponível nos atores, tanto emissor, quanto receptor, bem como o objetivo dessa transferência ou a necessidade que gerou esse fluxo (DALMARCO, 2012). Nessa mesma linha, Laihonon (2013) aponta que o receptor relaciona o conhecimento transferido com o próprio modelo mental, criando a própria interpretação do conhecimento original que ele recebeu.

Conforme Zhuge (2002), os pontos entre emissor e receptor recebem o nome de *knowledge node* (do inglês, nó do conhecimento), e que, para caracterizar a existência de um fluxo do conhecimento, três atributos são necessários, sendo estes: a direção, o conteúdo e o portador. Estas características definem o emissor, ou o ponto de partida, o conhecimento contido e quem o transmite, ligando posteriormente ao receptor, impulsionando, principalmente, a comunicação entre os *knowledge nodes*. Ainda na compreensão de Zhuge (2006), um fluxo de conhecimento é definido através da passagem do conhecimento entre nós, de acordo com certas regras. Já na visão de Zhao e Dai (2008), fluxo de conhecimento é o compartilhamento da visão de conhecimento, entre vários participantes, de um ou mais processos de negócios. Micek (2019), por sua vez, abrange o fluxo de conhecimento e o integra com um termo mais específico, o fluxo de conhecimento de mercado. O autor destaca que esta associação está entre os processos cruciais ao estímulo à inovação e o desenvolvimento regional.

Wang (2010) destaca que o conceito de transferência e compartilhamento de conhecimento ultrapassa as fronteiras entre a organização e o indivíduo, transformando-se em um processo complexo e dinâmico entre dois ou mais nós. Do ponto de vista do autor, o método de transferência de conhecimento é a composição de dois processos, nomeados transferência do conhecimento e internalização do conhecimento, ao ponto que, quando os conhecimentos transferidos são bem captados por um ou mais nós, este processo pode ser chamado de transferência efetiva de conhecimento. Ainda, Woo, Shu e Lee (2011), corroboram com essa análise, apontando que a absorção correta do conhecimento é utilizada para criar um novo fluxo de conhecimento, observado sua estrutura e princípios.

Nada obstante, Labiak Jr. (2012) afirma que o fluxo de conhecimento pode ser compreendido como sendo “a passagem do conhecimento entre ativos de conhecimento (...) através de regras, princípios e sentido”, isso compreende: direção, distância, conteúdo, portador e tempo. Estes atributos são entendidos como sendo os remetentes/receptores (par de nó: provedor/consumidor), o conhecimento comunicado (conteúdo), e o meio de transmissão (portador). Um fluxo de conhecimento começa e termina em um nó, aperfeiçoando e completando o ciclo da socialização do conhecimento e potencializando o surgimento de um novo conhecimento. A título de aplicação, o nó de conhecimento pode ser representado por uma pessoa, um computador, um portal, um banco de dados ou ainda um processo de conhecimento.

A medição da energia do conhecimento obedece a alguns critérios, sendo o k_e (*knowledge energy*) um parâmetro que estabelece o nível dos k_n (*knowledge nodes*). Ou seja, eles expressam a capacidade criativa e cognitiva de uma pessoa ou grupo em determinado campo. Quanto maior a energia do conhecimento de um k_n , mais facilidade este terá para aprender, em outras palavras, quanto menor a resistência para aprender algo, maior a energia. (ZHUGE, 2006; KURTZ, 2011; LABIAK Jr., 2012).

A energia do conhecimento de um nó pode ser mensurada de duas maneiras:

- i. Estimado por meio de testes de perguntas e respostas;
- ii. Medido a partir da energia do nó antecessor e nós sucessores.

Desse modo, para que ocorra determinado tipo de fluxo entre os nós, o k_e necessita nível diferente, ao passo que sua eficiência está sempre relacionada a um gradiente (KURTZ, 2011) que precisará fluir do k_n de maior energia para o k_n de menor energia. No transcurso do tempo, a energia do conhecimento poderá diminuir. Isso ocorre quando entre dois k_n 's não há uma reserva ou fonte de alimentação externa que alimente o k_n emissor. Se não houver diminuição do conhecimento, ou ainda se essa perda for por um período curto, a energia do conhecimento não irá diminuir (ZHUGE, 2006; KURTZ, 2011).

Através da análise da definição de fluxo de conhecimento colocada pelos autores supracitados, é possível perceber uma certa analogia com a teoria dos potenciais, oriunda dos estudos na área de física do século XIX, quando se acreditava que as forças fundamentais da natureza eram provenientes de potenciais, satisfazendo a equação de Laplace⁶. A teoria dos potenciais, embasada no estudo de funções, é usada em aplicações de diversas áreas da física, como por exemplo, condução térmica e eletrostática.

Nesse sentido, recentemente, alguns autores têm se baseado na analogia do fluxo de conhecimento com condução térmica ou difusão de calor. Labiak Jr. (2012) estudou em sua tese um modelo proposto por Huang (2007), o qual baseia-se na analogia entre difusão de

⁶ Equação de Laplace, da matemática, é uma equação diferencial parcial cujo nome honra seu criador, Pierre Simon Laplace. Trata-se de uma equação diferencial elíptica de alta relevância, pois é descritora de comportamentos em vários campos da ciência, como, por exemplo, a astronomia, o eletromagnetismo, a mecânica dos fluidos, elétrica, entre outras aplicações.

conhecimento e difusão de calor. Bulnes (2006) abordou o processo de difusão do conhecimento em um meio científico, denominado cadeia de conhecimento. A autora propõe um modelo matemático a partir de algumas modificações nos parâmetros do modelo de transferência de calor. Na mesma direção, a solução utilizada por Dos Santos *et al.* (2015) faz uso do modelo de equações parabólicas para simular o processo de transmissão do conhecimento em uma cadeia científica, resolvido pelo método numérico de diferenças finitas do tipo Crank-Nicolson.

De forma complementar, a próxima seção apresenta um detalhamento dos modelos de fluxo de conhecimento fundamentados na difusão de calor encontrados na literatura.

2.1.1 Modelos de fluxo de conhecimento

A equação 2.1 apresenta o modelo de transferência de calor com base na lei de Fourier. Segundo Incropera *et al.* (2008), essa equação foi desenvolvida a partir de fenômenos observados ao invés de ter sido derivada a partir de princípios fundamentais, por isso é conhecida como uma equação fenomenológica.

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

onde q_x representa a taxa de transferência de calor em W, k a condutividade térmica do material em W/(m·K), A é a área da secção transversal em m², dT é a diferença de temperatura em K e dx o comprimento do condutor, em metro (m), para uma barra de comprimento L . Por conseguinte, o fluxo de calor ou o fluxo térmico⁷ pode ser representado da seguinte forma:

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

⁷ O duplo apóstrofe na equação 2.2 e 2.3, utilizado pelo autor para representar o fluxo térmico, trata-se apenas de uma terminologia, o que difere da representação Lagrangiana de derivada segunda, que faz uso do mesmo símbolo.

O sinal negativo é necessário porque o calor é sempre transferido de uma fonte de maior para uma fonte de menor temperatura. Desta forma, a direção do escoamento de calor será sempre normal à superfície de temperatura constante. A equação 2.3 representa a taxa de condução (lei de Fourier) da seguinte forma:

$$q'' = -k\nabla T = -k \left(i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2.3)$$

Onde ∇ é operador gradiente tridimensional e $T = T(x, y, z)$ representa o campo escalar de temperaturas. Essa abordagem foi utilizada de forma análoga para representar o fluxo ou a difusão do conhecimento, na visão de alguns autores, que dedicaram suas pesquisas a fim de sintetizar a complexidade do fenômeno relacionado ao fluxo de conhecimento.

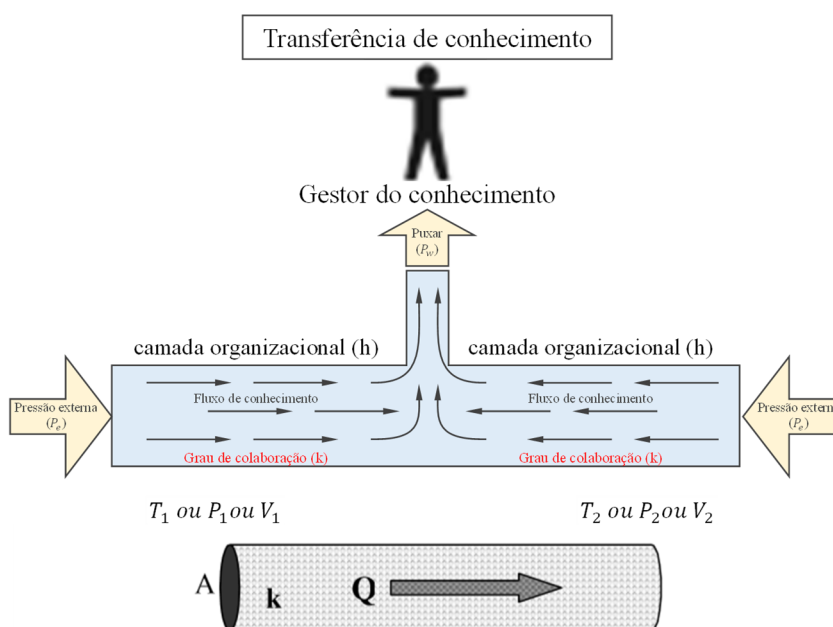
Nesse contexto, Ilovici e Hochanadel (2003) faz uso da otimização do modelo de transferência de conhecimento organizacional para interpretar o fluxo de conhecimento no âmbito de uma organização com um time de gerenciamento de projetos, a fim de obter maior eficácia de fluxo de conhecimento nos projetos da organização e, especialmente, identificar os pontos críticos pertinentes. A autora ainda identifica parâmetros de transferência de conhecimento organizacional, os quais se correlacionam com as variáveis físicas da equação da taxa de fluxo de calor, expressa na equação 2.4:

$$Q = \frac{P}{R} (T_1 - T_2) \quad (2.4)$$

A taxa de fluxo (Q) é proporcional à força motriz do fluxo (P) e inversamente proporcional à resistência da mídia pela qual o fluido passa (R). O modelo de transferência de conhecimento apresentado por Ilovici toma como base os parâmetros correlatos governantes da transferência de calor, condutância elétrica e fluxo de fluido através de meios porosos. Basicamente, estes fluxos podem ser descritos por formulações matemáticas análogas. A Figura 6, proposta por Ilovici e Hochanadel (2003), mostra um modelo de fluxo linear para eletricidade, calor ou fluxo de fluido por meio de um objeto com condutividade k , comprimento L e área transversal A . A diferença entre T_1 e T_2 , P_1 e P_2 ou V_1 e V_2 representa a potencialidade (*driving force*, do inglês) para conduzir o fluxo através do meio. O tamanho da seção transversal, o comprimento do canal

e a propriedade do meio determinam a resistência do fluxo. De acordo com a autora, a especificação do ciclo de vida do projeto e a taxa de fluxo de conhecimento também têm uma curva de vida correspondente. Portanto, é possível afirmar que o modelo de fluxo de conhecimento é dinâmico, ao invés de estático, indicando que as variáveis precisam estar no domínio transitório. Apesar do modelo não avaliar efeitos dinâmicos e a interferência dos fatores relacionados ao ambiente, vários *insights* são propostos visando novas pesquisas relacionadas ao fluxo de conhecimento em organizações que gerenciam projetos, servindo de subsídio para novos estudos.

Figura 6 – Diagrama de fluxo linear.



Fonte: Traduzido de Ilovici e Hochanadel (2003).

A pesquisadora conclui em suas análises que o importante para que haja a maximização do fluxo de conhecimento na organização é colocar a pessoa certa no lugar certo, haja vista que para executar o projeto de maneira eficiente e eficaz, o papel mais importante de um gerente de conhecimento é avaliar a condutividade de transferência do fluxo. Com base neste, é possível entender que as ferramentas da engenharia do conhecimento são elementos fundamentais para aumentar o escoamento dos fluxos de conhecimento e priorizar elementos de alta energia de conhecimento, para elementos de menor energia tal qual, num sistema de transmissão de água de alta pressão para regiões de baixa pressão (LABIAK Jr., 2012).

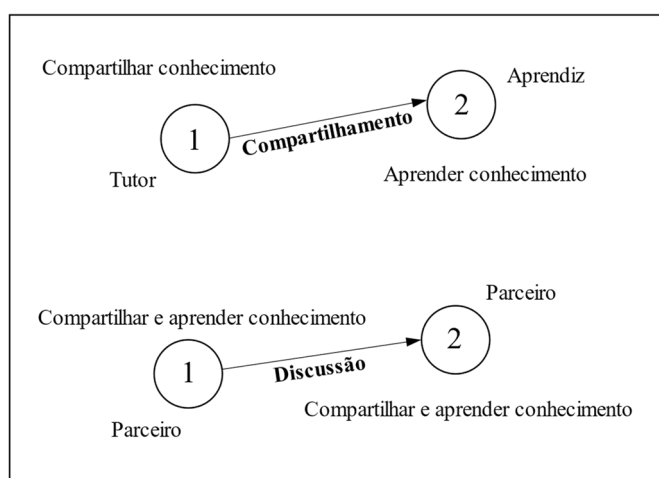
Huang (2007) propôs um modelo de fluxo de conhecimento aplicado em comunidades de prática definido por meio da equação 2.5, denotando uma estrutura física similar ao modelo proposto por Ilovici. Apesar da semelhança verificada, o autor denomina as variáveis de uma forma mais clara e no contexto da gestão do conhecimento.

$$F_{ij} = \frac{M_j W_i}{D_{ij}} (K_i - K_j) \quad (2.5)$$

Onde F_{ij} representa o fluxo de conhecimento entre quaisquer dois membros, D_{ij} representa a distância entre K_i e K_j , que, por sua vez, representam lacuna de conhecimento, e W_i e M_j a vontade de compartilhar e motivação de aprendizagem, respectivamente. É possível concluir, de acordo com a equação 2.5, que o fluxo de conhecimento é inversamente proporcional à distância e diretamente proporcional a vontade de compartilhar, bem como a vontade de adquirir conhecimento, através da visão do autor. Dessa forma, o modelo de difusão do conhecimento proposto pelo autor também pode ser compreendido como um modelo análogo ao modelo de difusão de calor. Esse modelo pressupõe que a difusão do conhecimento ocorrerá entre o tutor e o aluno em dois níveis: (i) quando ocorre a atividade de compartilhamento do conhecimento, e (ii), quando apenas uma atividade de discussão foi gerada entre o tutor e o aluno como ilustra a Figura 7.

De acordo com o autor, frequentemente alunos não conseguem absorver todo o conhecimento e as habilidades que os tutores ensinaram durante a transferência de conhecimento. Isso se deve ao fato de a difusão do conhecimento ser limitada pela capacidade de aprendizagem individual, bem como a capacidade de compreensão. Similarmente, as habilidades do tutor em transmitir o conhecimento também são fundamentais para que o processo de compartilhamento seja eficaz. Da mesma forma que o modelo de Ilovici, o modelo apresentado por Huang possui caráter estático, que não leva em consideração a dinâmica do fluxo no tempo. Embora o modelo apresente um avanço no que tange a nomenclatura das variáveis, limitações ainda são verificadas pelo fato de apenas a distância entre o emissor e o receptor ser responsável pelo efeito advindo do ambiente.

Figura 7 – Compartilhamento e discussão do conhecimento.



Fonte: Huang, (2007).

Ainda, a partir do modelo de transferência de calor, Bulnes (2006) investigou a transferência de conhecimento como um processo difusivo por meio de uma análise qualitativa unidimensional. O modelo foi considerado como uma aproximação sugerida para obter relações referentes à geração de conhecimento, velocidade de aprendizado e transferência de conhecimento, em uma cadeia de conhecimento, sendo descrito por:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \alpha C_0 \theta^2 = \theta C_p \frac{\partial \theta}{\partial t}, \text{ onde } \theta = \theta(x, t) = (1 + \alpha T(x, t)) \quad (2.6)$$

Segundo a autora, o primeiro termo à esquerda da igualdade da equação está associado à quantidade de calor instantaneamente retida de um elemento genérico. O segundo termo provém do calor gerado neste elemento, sendo C_0 um coeficiente de geração de calor. Finalmente, o termo à direita da igualdade está associado com a taxa de variação do calor no tempo, que se relaciona com a variação da temperatura através do calor específico C_p . A correlação entre o modelo de transferência de calor e a difusão do conhecimento pode ser vista com maior detalhamento no Quadro 1, proposto por Bulnes (2006).

É possível observar no Quadro 1 que o modelo proposto por Bulnes também mantém uma analogia com as equações de transferência de calor, tomando como referência o modelo de Fourier (equação 2.1), considerando a dinâmica do fluxo de conhecimento, o que configura um diferencial quando comparado aos modelos citados anteriormente. Além disso, é importante

ressaltar que os modelos até aqui apresentados foram estudados para diferentes aplicações, locais e organizações.

Quadro 1 – Correlação entre transferência de calor e conhecimento

L: comprimento da barra, (Eq. 2.1)	Dimensão espacial da cadeia de conhecimento
A: Área da seção transversal da barra ou massa por unidade de comprimento (Eq. 2.1)	Número de indivíduos atuando num setor produtivo pertencente a uma “célula” de conhecimento
T: Temperatura	Pode ser considerada como uma medida ou índice de produtividade intelectual ou alguma atividade dependendo da capacidade de conhecimento
C_0: Coeficiente de geração de calor	Coeficiente de geração de conhecimento, isto é, a criatividade dos indivíduos na cadeia de conhecimento ou uma média da criatividade distribuída entre eles de acordo com algum critério
C_p: Coeficiente de calor específico	Coeficiente de capacidade de aprendizado (ou impedância cognitiva), no sentido de que quanto menor for o C_p , maior a capacidade de um grupo absorver conhecimento (num intervalo de tempo fixo)
α: Taxa de crescimento relativa à intensidade da fonte de calor e de massa	Coeficiente de motivação, ou taxa de estímulo representando a disponibilização de recursos pelo governo objetivando acelerar a produção intelectual
k: Coeficiente de condutividade térmica	Coeficiente de transferência de conhecimento
$q(x, t)$: Fonte de geração de calor	Pode ser considerada como a capacidade de geração de produtividade intelectual ou nível de pesquisa da cadeia de conhecimento
(x, t): Posição relativa do espaço e tempo	Pode ser considerada a posição numa “célula” de conhecimento num certo tempo t

Fonte: Bulnes, (2006).

Ainda no âmbito do desenvolvimento e aplicação de modelos matemáticos capazes de descrever o fluxo de conhecimento, Bevilacqua *et al.* (2010), na perspectiva de uma cadeia de pesquisa, analisa soluções sobre a geração do conhecimento e sua permeabilidade na cadeia de pesquisa de inovação, principalmente no contexto da compreensão dos respectivos processos, sendo estes compreendidos por: geração, difusão e transferência de conhecimento. Os autores

avaliaram a influência de caminhos preferenciais de difusão do conhecimento entre a rede da cadeia de pesquisa, adotando a equação 2.7 como modelo base para suas análises.

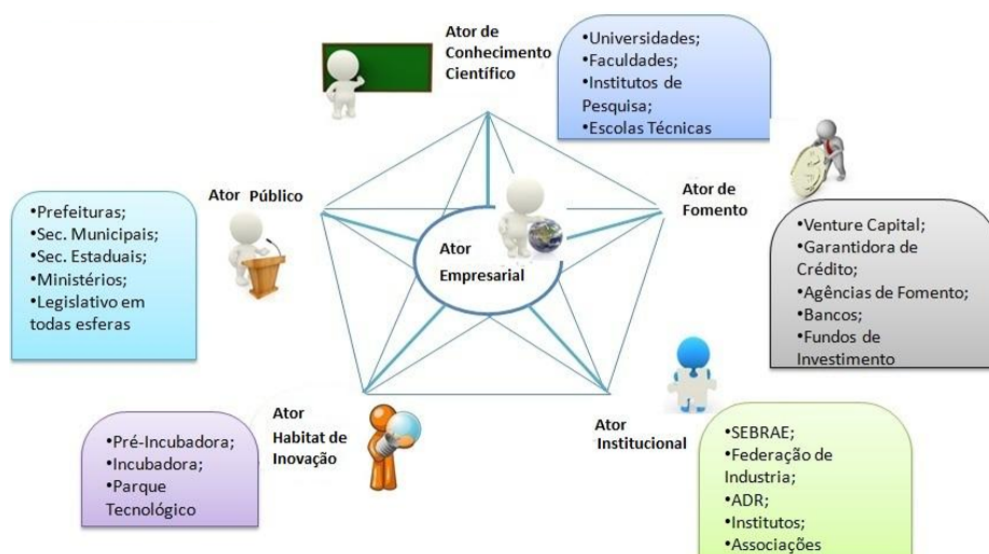
$$c_p \frac{\partial u}{\partial t} = \text{div} (K_0 \nabla u) + \alpha C_0 u \quad (2.7)$$

Sendo $u(x, y, t)$ a função do nível de conhecimento ou densidade do conhecimento no tempo, das pesquisas ou grupos de pesquisa da rede da cadeia; c_p a indutância cognitiva (ou impedância cognitiva); K_0 o coeficiente de difusão cognitiva, ou seja, permeabilidade da rede da cadeia; $r = \alpha C_0$ como o coeficiente de geração de conhecimento das pesquisas ou grupos de pesquisa e $\text{div}(\dots)$ e $\nabla(\dots)$ respectivamente, os operadores divergente e gradiente, restritos ao domínio da cadeia bidimensional. Nesse domínio, as pesquisas ou grupos são distribuídos em uma densidade uniforme para esta etapa do modelo. Assim como o modelo de Bulnes, o modelo de Bevilacqua *et al.* 2010 também considera o fluxo de conhecimento de forma dinâmica e não estática, fornecendo uma análise mais próxima da realidade.

Labiak Jr. (2012), em sua tese, trabalhou o fluxo de conhecimento em um sistema regional de inovação (SRI). Embasado nos modelos citados anteriormente, majoritariamente no modelo proposto por Huang, o autor identifica as práticas de compartilhamento de conhecimento adotadas pelos atores regionais, e a partir disso, propõe a metodologia PKF (fluxos de conhecimento percebidos), obtendo o que o autor classificou como CKF (fluxo de conhecimento consolidado). A Figura 8 apresenta a representação esquemática do modelo estrela do fluxo de conhecimento no SRI proposto pelo autor.

Em suma, o modelo foi dividido em quatro seções, sendo a primeira responsável pelo mapeamento e caracterização dos atores presentes no SRI; a segunda se refere a identificação das energias de conhecimento presentes em cada um dos atores; a terceira apresenta as principais formas de compartilhamento de conhecimento, identificando as de maior relevância; e, finalmente, a identificação e mapeamento dos fatores que contribuem para os gargalos nos fluxos entre os atores existentes num SRI (LABIAK Jr., 2012). Apesar de citar em sua tese modelos transientes, ou seja, que considera os efeitos dinâmicos do fluxo de conhecimento, o autor adotou um modelo estático em sua pesquisa.

Figura 8 – Modelo referencial de Fluxo de Conhecimento no SRI.



Fonte: Labiak Jr., (2012).

Santos *et al.* (2015) propuseram um processo de difusão de conhecimento em um meio científico denominado de cadeia de conhecimento. Os autores consideraram um problema unidimensional e transiente, construindo um modelo matemático a partir de algumas modificações nos parâmetros do modelo de transferência de calor, a fim de simular a dinâmica da difusão e geração de conhecimento, por meio de generalizações da equação de difusão. Para esses autores, a correlação entre o modelo de transferência de calor e de difusão de conhecimento é constituída identificando-se o significado dos parâmetros na equação do calor, em expressão às definições dos processos de transferência de calor e os análogos processos de difusão do conhecimento, representando a permeabilidade do meio social na difusão de conhecimento através dos segmentos que compõem a cadeia de conhecimento. A equação 2.8 apresenta o modelo unidimensional e transiente proposto a partir de algumas modificações.

$$c_p \frac{\partial u}{\partial t} - \lambda K_1 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \lambda(1 - \lambda)K_2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + ru = 0 \quad (2.8)$$

Onde c_p representa à indução a absorção de conhecimento, ou capacidade de aprendizado de uma célula (quanto menor c_p maior será a capacidade de uma célula absorver conhecimento); λ é o coeficiente de transmissão de conhecimento entre células (ou pesquisadores) vizinhas(os);

x representa a coordenada espacial enquanto t a coordenada temporal; e K_1 e K_2 representam os coeficientes de transferência de conhecimento.

Ainda, segundo os autores, esta função pode ser compreendida também como a medição da variação de conhecimento no tempo em cada uma das células da cadeia de conhecimento. O ônus desse modelo é, principalmente, a complexidade numérica e computacional intrínseca à discretização dos elementos em diferenças finitas, sobretudo na aplicação do método implícito de Crank – Nicolson.

O trabalho de Li e Zhang (2019) propõe um modelo de fluxo de conhecimento individual, baseado na fusão dos fluxos de trabalho e conhecimento. Já com o foco no indivíduo e grupo, Silveira *et al.* (2020) propuseram um método de análise do fluxo de conhecimento baseado em um modelo fenomenológico com o auxílio de uma ferramenta CFD (do inglês, *Computational Fluid Dynamics*). O principal objetivo dos autores residiu em fornecer uma representação mais intuitiva para o fluxo de conhecimento, com o objetivo de auxiliar os alunos de engenharia do conhecimento na compreensão desse assunto.

Por fim, Miranda Junior *et al.* (2021) destaca as principais vantagens de analisar o fluxo de conhecimento. Entre estas, destacam-se a melhoria nos processos organizacionais e o apoio à alta gestão e inovação organizacional em indústrias e institutos de pesquisa.

Adicionalmente, uma síntese dos principais modelos encontrados na literatura que avaliam o fluxo de conhecimento em diferentes domínios é apresentada no Quadro 2, que apresenta o tipo de modelo, aplicação, autores e ano da publicação.

Quadro 2 – Síntese dos modelos

<i>Modelo</i>	<i>Aplicação</i>	<i>Autores</i>	<i>Ano</i>
Conexões grafos	Domínio organizacional e interorganizacional	Zhuge	2002
Conexões grafos	Domínio organizacional e interorganizacional	Nissen	2002
Processo difusivo (Transferência de calor)	Âmbito organizacional para auxiliar os gerentes de projeto	Irina Ilovici and J. Han	2003
Processo difusivo (Transferência de calor)	Simulação de uma determinada cadeia de conhecimento	Maria Elizabeth Puelles Bulnes	2006
Processo difusivo (Transferência de calor)	Gestão do conhecimento: modelagem do conhecimento e difusão em comunidade de prática	Nen-Ting Huang	2007

Conexões grafos	Desenvolvimento de novos conhecimentos	Zhang, Yang e Liu	2008
Conexões grafos	Processos de negócio	Zhao e Dai	2008
Fuzzy (Modelo difuso)	Cadeia de suprimentos	Zhang Wu-yi e Li Xiao-liang	2009
Práticas de gestão do conhecimento	Domínio organizacional e interorganizacional	Wang <i>et al.</i>	2010
Difusão (Transferência de calor)	Cadeia de pesquisa, no contexto da compreensão de processos de geração, difusão e transferência de conhecimento	Bevilacqua <i>et al.</i>	2010
Conexões grafos	Domínio interorganizacional	Woo, Shu e Lee	2011
Práticas de gestão do conhecimento	Aspectos relacionados à cadeia suinícola Brasileira	Kurtz	2011
Difusão (Transferência de calor)	Sistema Regional de Inovação	Labiak Jr.	2012
Práticas de gestão do conhecimento	Associação Catarinense de Tecnologia (ACATE)	Bittarello	2014
Difusão (Transferência de calor)	Meio científico denominado cadeia do conhecimento	Dos Santos <i>et al.</i>	2015
Práticas de gestão do conhecimento	Domínio Organizacional	Weichbroth	2017
<i>Differential Game</i>	Domínio interorganizacional	Y. Yu <i>et al.</i>	2018
<i>Geographical Proximity Paradox Revisited</i>	Domínio Organizacional	Micek	2019
<i>Workflow-based</i>	Domínio Organizacional	Li e Zhang	2019
<i>CFD analysis</i>	Domínio Organizacional	Silveira <i>et al.</i>	2020
<i>Revisão da literatura</i>	Classificação das abordagens por domínio	Miranda Junior <i>et al.</i>	2021

Fonte: Do autor.

A análise da literatura demonstrou que o constructo fluxo de conhecimento tem sido estudado nos mais diversos domínios ao longo dos últimos anos, não se limitando a uma

determinada área ou setor. Dessa forma, as seguintes conclusões podem ser extraídas da análise dos trabalhos mencionados:

- i.* Diversos modelos de análises foram propostos fazendo uso da analogia ao modelo de transferência de calor;
- ii.* Cada modelo visou aplicações e domínios distintos;
- iii.* Alguns modelos avaliam o fluxo apenas de forma estática (*i. e.*, regime permanente), enquanto outros modelos, por sua vez, apresentaram recursos dinâmicos, embora penalizados pelo que tange a complexidade numérica e computacional;
- iv.* Há pouca concordância entre os trabalhos no que se refere as nomenclaturas adotadas para as variáveis.
- v.* Não foi identificada uma métrica bem definida e validada para fluxo de conhecimento ou perda de conhecimento.

Em face aos modelos discutidos, não foram identificadas representações quantitativas no que diz respeito ao efeito do ambiente sobre o fluxo de conhecimento. Isso dificulta a aplicação dos modelos teóricos na forma de indicadores determinísticos relevantes para a organização, sobretudo no que diz respeito à caracterização do desempenho dos colaboradores, o que é imprescindível para o processo de tomada de decisão a nível estratégico. Mais adiante, uma vez definidos os indicadores capazes de quantificar o efeito do ambiente no desempenho dos colaboradores de uma organização, torna-se fundamental definir uma métrica harmônica, capaz de classificar um ambiente de acordo com critérios sólidos, algo que também não está completamente desenvolvido no atual estado da arte.

Por outro lado, o estudo de Miranda *et al.* (2021) reforça a necessidade de avaliar outras variáveis que influenciam o fluxo de conhecimento, evidenciando que esta grandeza é tangenciada e influenciada por outros fatores, como por exemplo ruído de comunicação, que por sua vez podem causar perdas consideráveis no fluxo. Portanto, mais uma vez, é evidenciada a necessidade de propor um modelo que capte os efeitos combinados das irreversibilidades externas (*e. g.*, temperatura, ruído, iluminância, CO₂, entre outras) sobre o fluxo de conhecimento que, uma vez corrigidos, podem trazer vantagens para o desempenho dos colaboradores nas organizações. Além disso, a falta de conhecimento explícito, bem como

recursos tecnológicos, no ambiente de aprendizagem e inovação, também pode ser levada em consideração.

O presente trabalho conta com uma investigação a nível de modelo, onde foi verificada uma relação do fluxo de conhecimento com a curva de aprendizagem, sendo que o primeiro representa a taxa de acumulação de conhecimento, enquanto o último representa a quantidade de conhecimento adquirido ao longo do tempo de forma integrada, fato não constatado de forma explícita nos modelos presentes na literatura aberta.

Na sequência, a fim de complementar o entendimento sobre os modelos do fluxo de conhecimento, será abordada uma revisão sobre técnicas e ferramentas, com objetivo de identificar oportunidades para construção de um novo artefato, capaz de analisar e quantificar os impactos causados pelos agentes estressores do ambiente.

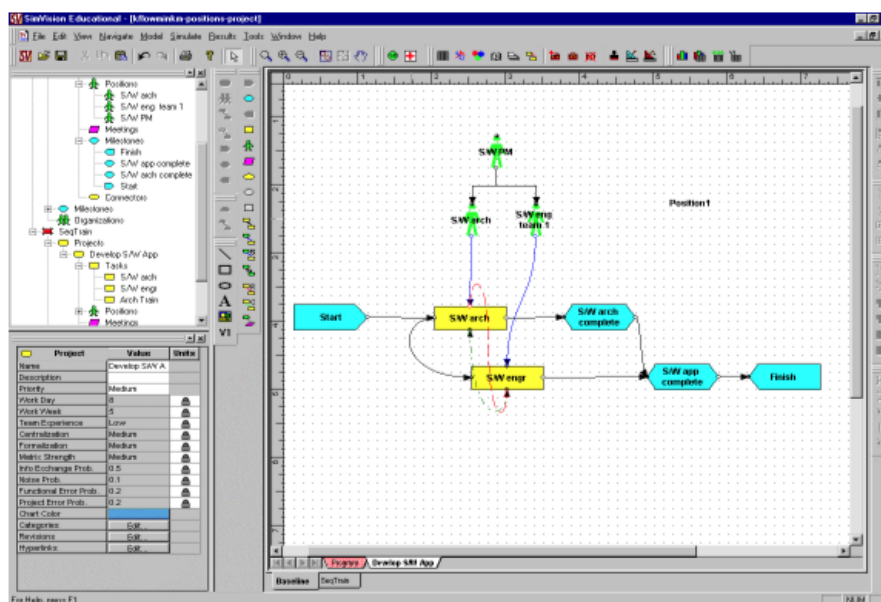
2.1.2 Técnicas e ferramentas para análise do fluxo de conhecimento

Nesta seção, apresenta-se uma visão geral sobre algumas técnicas e ferramentas relacionadas ao fluxo de conhecimento com base no estado da arte. Aqui, serão utilizados os termos, técnicas e ferramentas, sem entrar a fundo na distinção entre eles, e considerando que podem ser um meio utilizado pela organização para alcançar ou clarificar um objetivo. Na perspectiva de Brady *et al.* (1997), de uma forma direta, as ferramentas tendem a serem destinadas a realizar uma tarefa específica, enquanto as técnicas são procedimentos para alcançar uma dada atividade. O uso efetivo de técnicas e ferramentas tem sido um importante elemento na gestão do processo de inovação (THIA *et al.*, 2005), uma vez que elas facilitam a habilidade de uma organização em introduzir apropriadamente novas tecnologias em produtos, processos e as mudanças necessárias às organizações, (HIDALGO; ALBORS, 2008 *apud* BUCHELE *et al.* 2017).

Nissen (2002) observou a dinâmica do fluxo de conhecimento utilizando a ferramenta *Virtual Design Team* (VDT), com a finalidade de melhorar a capacidade de representar processos dinâmicos de fluxo de conhecimento (por exemplo, aprendizado em equipe e experiência no trabalho). Os autores afirmam que outras abordagens e ferramentas do campo da teoria da organização computacional podem ajudar a identificar as técnicas mais promissoras. Em outra instância, a dinâmica do fluxo de conhecimento alude alguma mudança no espaço de conhecimento, mas não está claro como essa mudança se relaciona com a literatura

sobre aprendizagem, seja a nível individual ou organizacional. Na Figura 9 é apresentada uma visão geral da interface VDT. Os autores concluem que novas pesquisas para mapear taxas de fluxo de conhecimento (por exemplo, através de teoria da melhoria) à processos alternativos de fluxo de conhecimento (por exemplo, usando ferramenta multidimensional) podem lançar uma luz considerável sobre um fenômeno dinâmico pouco compreendido. Contudo, a ferramenta atual ainda se limita em poucos recursos gráficos, desconsiderando uma análise do ambiente onde ocorre o fluxo do conhecimento. Além disso, a ferramenta não foi encontrada disponível no mercado para aquisição e uso.

Figura 9 – Interface do *Virtual Design Team* (VDT).



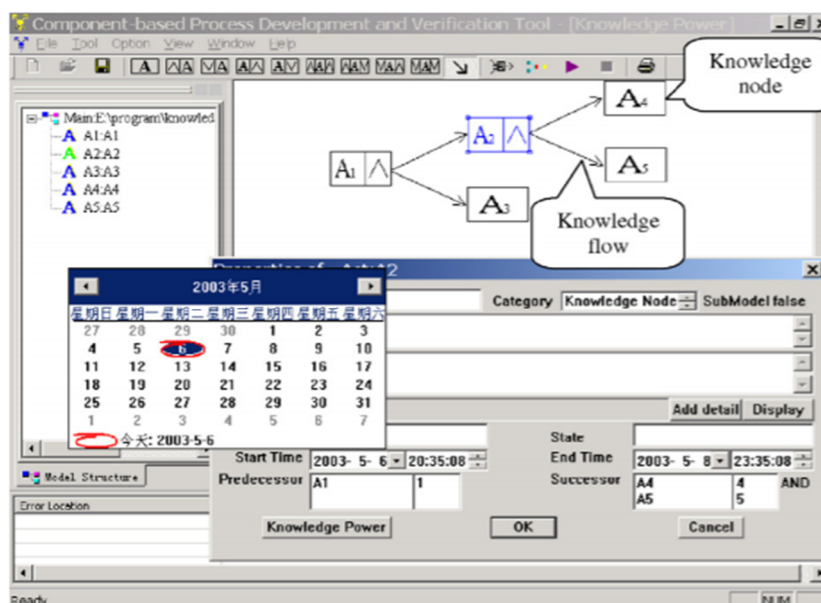
Fonte: Nissen (2002).

Zhugue (2006), em seu trabalho, desenvolveu uma ferramenta de planejamento na linguagem de programação Java para ajudar a definir a rede de um fluxo de conhecimento complexo de alto nível, e, assim, refiná-lo por meio da expansão dos nós entre componentes, visando a garantia de uma melhor cooperação entre os membros da equipe. A interface da ferramenta está representada na Figura 10.

Segundo o autor, para um melhor planejamento do fluxo de conhecimento, é importante considerar a confiança entre os membros de uma equipe. Sendo assim, a ferramenta desenvolvida possui uma matriz *TRUST* (confiança, do inglês), que grava o nível de confiança necessário e o nível real de confiança entre os membros, assim, encontrando a relação de

confiança. Cada elemento da matriz é definido como uma função do tempo $trust_{ij}(t)$, representando o grau que um membro i confia no membro j no tempo t . Os elementos são inicializados pelo líder da equipe, o qual os ajusta por meio do *feedback* dos membros sobre a efetividade de cooperação no trabalho.

Figura 10 – Ferramenta de planejamento de fluxo do conhecimento.

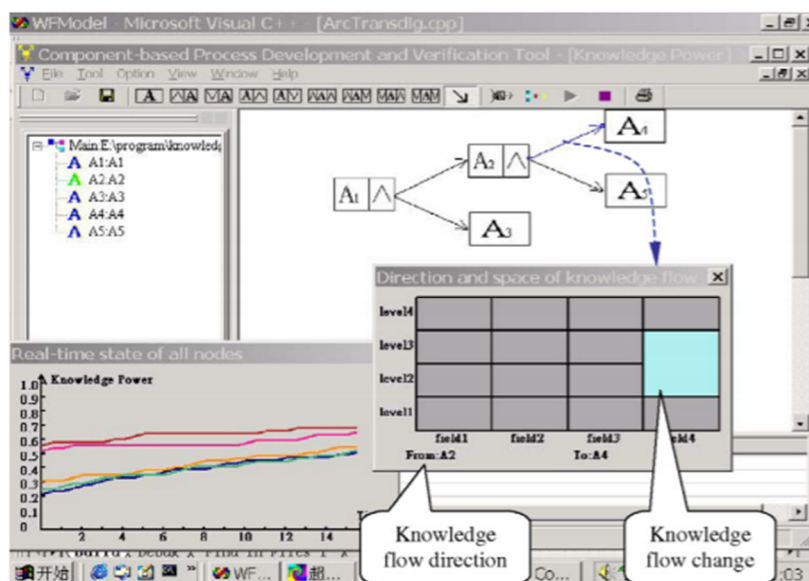


Fonte: Zhuge (2006).

A Figura 11 ilustra os dados do fluxo de ligação entre A_2 e A_4 . Nela, se observa a direção e os níveis que o fluxo de conhecimento alcança ao longo da simulação, conforme a indicação do retângulo azul.

Logo, a ferramenta de planejamento mostra ao usuário uma série de informações relevantes, tais como: (i) o acúmulo do conhecimento e seu fluxo na rede; (ii) se a rede atende aos requisitos de confiança e aos diferentes níveis de conhecimento ao longo da mesma e (iii) verifica também se a estrutura satisfaz o princípio de composição. Entretanto, uma das principais restrições é o fato de a ferramenta não se encontrar disponível em domínio público. Além disso, a ferramenta também não oferece recursos para analisar as perdas e os ganhos que ocorrem no fluxo de conhecimento dentro de um ambiente organizacional.

Figura 11 – Interface da simulação com dados do fluxo.



Fonte: Zhuge (2006).

Outra possibilidade encontrada na literatura trata-se da Petri Net (PN), ou redes de Petri, que também consiste em uma ferramenta gráfica e analítica de modelagem de sistemas discretos. Sistemas assíncronos com atividades paralelas e concorrentes podem ser descritos e analisados com auxílio dessa modelagem, podendo detectar impasses e inconsistências no sistema. O benefício desta modelagem é a identificação de aspectos básicos de diversos sistemas por meio da representação gráfica, sendo aspectos conceituais e matemáticos. Tal rede ainda pode ser utilizada como um modo de comunicação visual para explicar sistemas, utilizando as marcações para simular a dinâmica. Além disso, permite configurar equações algébricas para análise do modelo matemático que rege o comportamento do sistema. Redes de Petri foram inventadas especificamente em agosto de 1939, por Carl Adam Petri, com 13 anos de idade. Apenas 23 anos depois, ele documentou o trabalho como parte de sua tese de doutorado. Por não ser uma ferramenta destinada diretamente a análise de fluxo de conhecimento, foram encontrados poucos trabalhos na literatura relacionando as teorias. Segundo Zhou *et al.* (2005), a rede de Petri é uma ferramenta que pode modelar as comunicações entre os procedimentos, principalmente para descrever os processos paralelos. Segundo os autores, a modelagem do fluxo de conhecimento em rede de Petri pode descrever as características compartilháveis, paralelas, complexas e distribuídas do conhecimento. Na mesma direção, Zhang *et al.* (2008) descrevem uma abordagem de pesquisa baseada em rede

de Petri, a qual permite que a dinâmica dos fluxos de conhecimento seja formalizada por meio de modelos computacionais. Segundo os autores, quando comparados à teoria descritiva existente, articulada com a linguagem natural, esses modelos formais são consideravelmente menos ambíguos, mais confiáveis e explícitos. Entretanto, ainda apresentam limitações na parte gráfica, além de não contemplar avaliações sobre as características detalhadas do ambiente onde ocorre o fluxo.

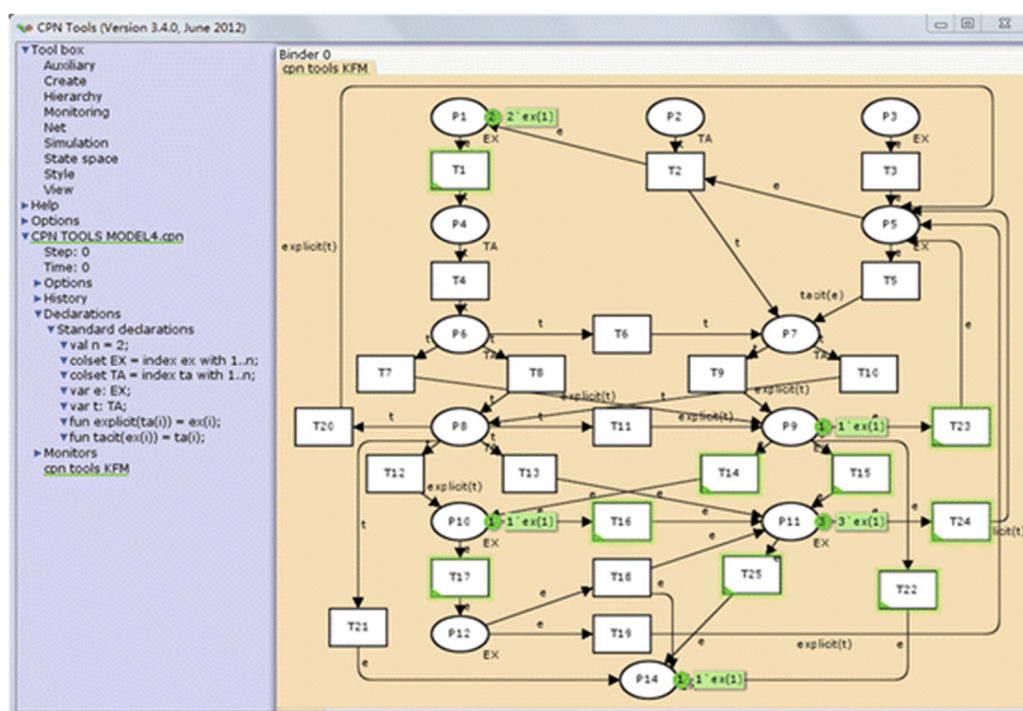
No processo de implementação da gestão do conhecimento, Jiangtao (2009) desenvolveu uma estratégia eficaz de transferência de conhecimento usando um modelo, também baseado em rede de Petri, para descrever o fluxo de conhecimento, obtendo, dessa forma, apoio na implementação da gestão do conhecimento dentro da organização. Igualmente, o autor não se manifesta com relação a possíveis perda e ganhos durante a transferência de conhecimento no ambiente organizacional.

Para He (2010), o fluxo de conhecimento pode ser efetivamente integrado aos recursos de conhecimento da cadeia de suprimentos, aprimorando a colaboração das empresas em nível de conhecimento e capacidade de resposta rápida para o mercado, colaborando para achar a conotação de conhecimento e implementar o compartilhamento. Os autores ajustaram as características da cadeia de suprimentos de empresas de ferro e aço a fim de arquitetar o modelo de fluxo de conhecimento com base na rede de Petri. O objetivo principal perseguido pelos autores foi melhorar a eficiência dos fluxos de conhecimento de empresas de ferro e aço para fornecer suporte, aumentando, dessa forma, a competitividade destas empresas. Essa abordagem explorou a eficácia do fluxo de conhecimento no âmbito interorganizacional. Não obstante, Li (2012) propôs um modelo de fluxo de conhecimento na cadeia de suprimentos também baseado na rede estocástica de Petri. Os autores explicam que o gerenciamento do conhecimento, por meio da cadeia de suprimentos, traz mais benefícios para os negócios, e que vários fatores durante o processo de fluxo do conhecimento podem causar diferentes perdas no processo.

Weichbroth (2017) coloca o conhecimento como um dos principais recursos para as organizações que forneçam serviços intensivos em conhecimento. Portanto, compartilhar e reutilizar são os principais objetivos da abordagem moderna de gestão do conhecimento, impulsionada pelas tecnologias da informação e comunicação. No entanto, é preciso solicitar os detalhes para fornecer os meios e ferramentas para projetar e implantar um ambiente capaz de cumprir esses dois objetivos. As redes de Petri possuem diversas aplicações, porém também

possuem diversas desvantagens em relação à sistemas complexos e à análise de ambientes. Por isso, foram propostas diversas extensões da rede de Petri, visando atender estes sistemas. Essas extensões foram chamadas de redes de Petri de alto nível, sendo a principal conhecida como rede de Petri colorida. A *Colored Petri Net (CPN)* vem sendo utilizada na modelagem do fluxo de conhecimento, principalmente, no âmbito interorganizacional. Em suma, essa linguagem de modelagem define graficamente a estrutura de um sistema distribuído como um grafo direcionado com comentários. Yu *et al.* (2018), no livro *Strategy and Performace of Knowledge Flow*, utilizam um modelo de rede de Petri colorido de fluxo de conhecimento, onde os autores usam diferentes *tokens* coloridos para caracterizar diferentes tipos de conhecimento, a fim de resolver problemas de complexidade relacionada à modelagem baseada na rede de Petri clássica, sendo que *token* pode ser entendido como símbolo que representa padrões de distribuição do número, bem como, os tipos de conhecimento. Abaixo segue uma visão geral da ferramenta CPN de acordo com a Figura 12.

Figura 12 – Interface CPNs Tools.



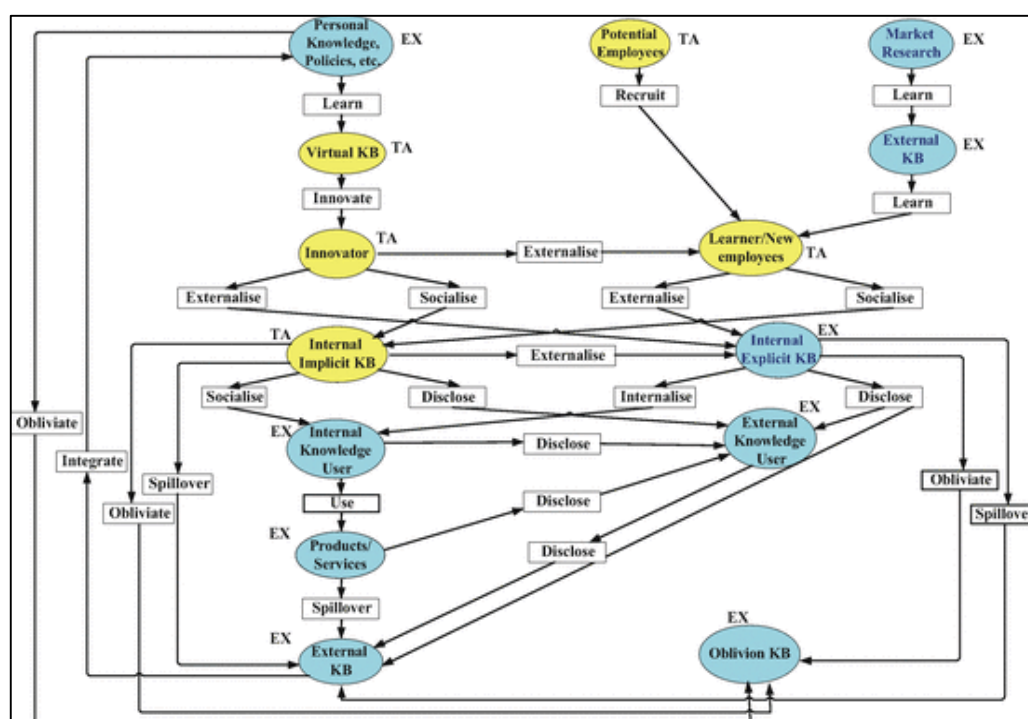
Fonte: Yu *et al.*, (2018).

A rede de Petri colorida define diferentes cores às marcações, ao ponto que objetos com diferentes atributos facilitam a distinção no projeto e análise de sistemas complexos. A

estrutura desta rede é uma quintupla dada por $CPN = (P, T, F, M, C)$. Onde P representa o lugar, isso é, um possível estado do sistema e T representa a transição, isso é, a condição/evento que ocasiona a mudança de estado no sistema. É importante salientar que, devido à restrições, nenhum arco conecta duas posições ou transições.

A ligação entre o lugar (P) e a transição (T) é feita pelo arco (F), o qual descreve a mudança de estado quando a transição ocorre. A marcação (M) indica os diferentes estados do sistema, demarcados por um valor único, denominado M_0 , o estado inicial da rede de Petri. Finalmente, C representa as diferentes colorações. Na Figura 13 é apresentada uma visão geral.

Figura 13 – Modelo básico do fluxo de conhecimento organizacional.



Fonte: Yo *et al.*, (2018)

Para realização da análise, os autores levaram em consideração a fase de vida do conhecimento (KLC⁸). Esta, por sua vez, é caracterizada pelo intervalo de tempo em que o conhecimento começa a ser vagamente observado, até este ser estudado e aplicado, e, então, eventualmente descartado. Desse modo, as fases consideradas pelos autores são compreendidas por: aquisição do conhecimento; integração do conhecimento; aplicação do conhecimento e o

⁸ KLC = *Knowledge Life Cycle* (ciclo de vida do conhecimento, do inglês).

descarte do conhecimento. A primeira fase, definida pela aquisição do conhecimento da organização, pode ocorrer de duas formas: (i) os empregados obtêm informação de fora da organização ou (ii) os empregados desbravam novos conhecimentos dentro da organização através de experimentos, observações, análises e reflexões. A segunda fase compreende a integração de conhecimento. Nesse caso, a organização introduz o novo conhecimento em seu ambiente através de codificação, armazenamento, transferência, compartilhamento, integração e extração. A terceira fase é definida pelo processo de aplicação do conhecimento, quando o empregado começa a utilizar o novo conhecimento durante sua fase de estudo para obter experiência e, em seguida, o comercializa em bens/serviço, fornecendo proventos para a empresa. A quarta fase é responsável pelo descarte do conhecimento quando este não fornece mais tanto valor intelectual, ativa ou passivamente (Yu *et al.*, 2018).

Apesar do avanço perceptível da rede de Petri colorida com relação à convencional, a abordagem ainda carece de recursos gráficos, fundamentais para uma compreensão mais delineada do problema. Ainda, é importante ressaltar que ambas as redes são ferramentas amplamente utilizadas na área de automação industrial e no domínio interorganizacional.

Em virtude dos fatos observados na pesquisa envolvendo as redes de Petri, é possível inferir que os recentes avanços na obtenção de técnicas e ferramentas capazes de atender complexidades inerentes à análise dos fluxos de conhecimento ainda são limitados por falta de alguns recursos. Além disso, a revisão aponta dificuldades no sentido da obtenção de soluções tanto no âmbito de modelo quando no desenvolvimento de uma ferramenta ou técnica de análise que avalie os aspectos relacionados à influência do ambiente no fluxo de conhecimento. Todavia, a revisão ainda aponta um certo nível de carência em técnicas e ferramentas de acesso livre, disponíveis no mercado, capazes de fornecer subsídio suficiente para o profissional da área de engenharia do conhecimento, sobretudo em suas análises no intento de auxiliar profissionais de outras áreas de conhecimento.

Por todos esses aspectos, não foram encontrados modelos de análise do fluxo de conhecimento, ou uma ferramenta, capazes de avaliar a influência dos impactos causados pelo próprio ambiente sobre os colaboradores através da ação combinada dos agentes estressores. De forma análoga, além do fluxo de conhecimento, entende-se que a curva de aprendizagem, ou de desempenho do trabalhador, será afetada diretamente pelos agentes estressores dispostos no ambiente, sendo esta uma variável passível de medição e análise. Além disso, existe uma correlação direta do desempenho do trabalhador com a assiduidade de entregas dos projetos

Embrapii. Conforme apurado anteriormente, uma das principais exigências da Embrapii é o cumprimento das metas e prazos estabelecidos em seu modelo de negócio. Logo, percebe-se uma oportunidade de avaliar de forma simultânea o fluxo de conhecimento e a curva de aprendizagem através de um modelo global de análise. Esse ensejo surgiu a partir da interpretação analítica do modelo de Huang (2007), citado anteriormente, onde, ao se observar a taxa de variação do conhecimento do receptor ao longo do tempo (*i. e.*, a derivada da curva do conhecimento acumulado), foi constatada uma resposta em formato exponencial, passível de representação por modelos matemáticos de curva de aprendizagem univariados. A seção a seguir aprovisiona uma breve introdução sobre curva de aprendizagem e resume os principais modelos matemático de curva encontrados na literatura. Assim, é possível compreender as principais características da curva de aprendizagem e suas aplicações no âmbito organizacional. Vale lembrar que, no contexto desta pesquisa, as principais vantagens provenientes da análise combinada do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem advém, majoritariamente, da melhoria nos processos organizacionais, com foco em ambientes que envolvem inovação e a aprendizagem organizacional.

2.2 CURVA DE APRENDIZAGEM

Estratégias assertivas na gestão de recursos humanos são essenciais para o sucesso de uma organização de inovação e aprendizagem. Nesse entremeio, alguns instrumentos são concebidos com a finalidade de mensurar a obtenção de conhecimento que está intimamente relacionada à capacidade produtiva dos colaboradores. As organizações dispõem de uma ferramenta denominada “Curva de Aprendizagem”, desenvolvida para medir e prever a evolução, o ritmo de aprendizagem e o desempenho de um colaborador, permitindo analisar o tempo dispendido por um trabalhador em uma dada atividade. A implantação desse tipo de análise no modelo de negócio Embrapii tem caráter promissor, podendo trazer inúmeros benefícios para as unidades credenciadas, visando uma gestão efetiva do desempenho dos trabalhadores no desenvolvimento dos projetos de inovação industrial. Ainda, apesar de a aplicação dessa ferramenta estar sendo analisada para o modelo de negócio Embrapii, essa abordagem pode ser facilmente estendida para diferentes tipos de organização.

Desde a metade do século XX, a teoria da Curva de Aprendizagem é admitida e aplicada em múltiplos campos organizacionais com as mais diversas finalidades, que vão desde

medir o tempo para execução de uma tarefa, até avaliação da eficácia de um treinamento (ANZANELLO, 2004). Mais do que fornecer um modelo que permite visualizar como um indivíduo assimila e retém o aprendizado, a curva de aprendizagem também contribui no mapeamento do desempenho de uma equipe de colaboradores. Ainda, é uma ferramenta capaz de identificar a efetividade de um método, desde a contratação, estimando se um colaborador possui aptidão para realizar determinada tarefa, e também auxilia no gerenciamento de custos com os recursos humanos, além de gerir, acompanhar e mensurar o conhecimento acumulado, seja individual ou coletivo.

Arthur Bills descreveu a curva de aprendizado em seu trabalho “Psicologia experimental”. Em seu trabalho, ele a descreve dizendo: “a curva de aprendizado é um dispositivo gráfico para representar a taxa de melhoria em termos de um determinado critério de eficiência, como resultado da prática” (BILLS; ARTHUR GILBERT, 1934).

O conceito da Curva da Aprendizagem remonta ao ano de 1936, quando T. P. Wright, em uma publicação de um artigo no Diário da Ciência Aeronáutica nos Estados Unidos, descreveu a teoria básica para obtenção de um cálculo de custo, baseado na produção periódica da montagem de aviões. A priori, a curva apenas demonstrava a variação no tempo dispendido para realização de uma atividade específica, ao ponto que, ao longo do desenvolvimento de mais trabalhos, mais dados foram coletados, fornecendo subsídio para a capacidade estimativa do modelo. Desde então, o modelo de Wright passou a ser utilizado para cálculos da redução de custos de produção, avaliação do tempo demandado para a conclusão de tarefas e alocação de colaboradores para atividades com base em suas habilidades. Assim, conceitua-se curva de aprendizagem como sendo representações matemáticas do desempenho de um trabalhador, (WRIGHT, 1936 *apud* ANZANELLO, 2004; ANZANELLO; FOGLIATTO, 2007; SILVA, 2019).

De acordo com Schilling *et al.* (2003), no âmbito organizacional, a curva de aprendizagem pode ser definida como um modelo matemático empregado na representação da aprendizagem a nível individual, de um grupo e/ou uma organização. Percebe-se, neste sentido, que por meio das curvas de aprendizagem as organizações podem reduzir perdas decorrentes da inaptidão do trabalhador, as quais são constatadas especialmente nos primeiros ciclos de produção, através da análise e programação das tarefas produtivas. A representação da curva de aprendizagem, seja a nível individual ou coletivo, é de extrema importância para o sucesso

de um projeto nas unidades Embrapii, tendo em vista as exigências expostas no modelo de negócio.

O emprego de modelos de curvas de aprendizagem tem se intensificado notadamente no meio acadêmico, especialmente nos cursos de engenharias, e nos setores industriais e de serviços. A unidade Embrapii Polo, por exemplo, opera com alunos advindos de cursos de engenharias de diversas áreas, ao ponto que o monitoramento da curva de aprendizagem, mesmo que de forma qualitativa, atua como um indicador importante, sendo apreciado com otimismo pelos gestores da unidade credenciada. Assumindo caracteres uni e multivariados, modelos distintos para curva de aprendizagem foram originados a partir do acompanhamento e estimativa do desempenho de colaboradores (ANZANELLO; FOGLIATTO, 2007; SILVA, 2019). A partir das variações complexas das funções matemáticas da curva de aprendizagem, torna-se possível avaliar o processo de aquisição do conhecimento dos integrantes da equipe de projeto de diversas formas.

Conforme aclarado por Anzanello e Fogliatto (2007), dentre as curvas de aprendizagem univariadas mais difundidas, merecem destaque os modelos potenciais, exponenciais e hiperbólicos. O modelo de Wright, conhecido como pioneiro, é um exemplo de modelo potencial, e, por ser um modelo considerado flexível, tem sido empregado no entendimento e criação de estratégias de produção, avaliação de tempo para o desenvolvimento e finalização de tarefas específicas. A curva de Wright (1936) é representada pela seguinte equação:

$$y = C_1 x^b \quad (2.9)$$

Nessa equação, y representa o tempo (custo) médio por unidade exigido para a produção de x unidades de um determinado produto e o C_1 representa o tempo (custo) da primeira unidade produzida. O parâmetro b , que mostra a declividade da curva, é gerado por meio de manipulação matemática a partir da taxa de aprendizado do colaborador, mensurada percentualmente, pertencendo a um intervalo -1 a 0. Quando os valores de b ficam próximos da unidade negativa, um alto percentual de aprendizado e apropriação célere dos preceitos da tarefa é percebido (WRIGHT, 1936 *apud* ANZANELLO; FOGLIATTO, 2007). Esse modelo de curva pode ser utilizado para descrever com boa precisão a maior parte das tarefas comuns,

além de apresentar a vantagem de ser matematicamente simples (ANZANELLO, 2004 *apud* ANZANELLO; FOGLIATTO, 2007).

No contexto das organizações, quando um colaborador é admitido ou transferido de setor, é esperada uma diminuição no ritmo de produção para a execução de uma determinada tarefa, devido à falta de experiência, quando comparado a um trabalhador mais experiente. Esse tempo demandado para a execução da tarefa, inferido pelo parâmetro b da equação da curva, é diminuído com o passar do tempo, devido ao acúmulo de conhecimento. Sendo assim, de acordo com o exposto na teoria da curva de aprendizagem, acredita-se que a demanda de tempo necessária para que o colaborador conclua uma tarefa seja menor a cada vez que a tarefa for realizada, tendendo assintoticamente ao menor tempo possível para execução da atividade.

Tendo em vista os aspectos observados, o modelo da curva de aprendizagem proposto por Wright pode ser manipulado matematicamente, de forma a se chegar ao cálculo do tempo (custo) total utilizado na fabricação de x unidades por meio da equação:

$$y_{1 \rightarrow x} = C_1 x^{b+1} \quad (2.10)$$

De acordo com os estudos de Silva (2019), ao longo da virada do século, foram criados diversos outros modelos potenciais de curva de aprendizagem. A pesquisadora explica que esses novos modelos buscaram complementar e dar outras interpretações ao processo de análise da curva de um trabalhador. As diferentes curvas possibilitam a verificação de possíveis efeitos de paradas no processo de produção, como custos e variação de tempo, avaliação da experiência prévia do colaborador, bem como a identificação das consequências geradas pelas modificações nos parâmetros de um processo durante a execução de uma tarefa.

Para bem verificar a consequência da experiência prévia do trabalhador no desempenho atividade, Mazur e Hastie (1978) *apud* SILVA (2019) acrescentaram o parâmetro p , instituindo um modelo hiperbólico com três critérios descritos na equação:

$$y = k \left(\frac{x + p}{x + p + r} \right) \quad (2.11)$$

Nesse modelo de curva hiperbólica, os parâmetros possuem significado análogo aos do modelo exponencial de três parâmetros, sendo y o desempenho do colaborador, x o tempo

empregado na execução da atividade, o k mede a condição de desempenho máximo do trabalhador, p a experiência prévia do operário no cumprimento da tarefa e por fim, o r é o parâmetro responsável por mostrar a taxa de aprendizado do colaborador.

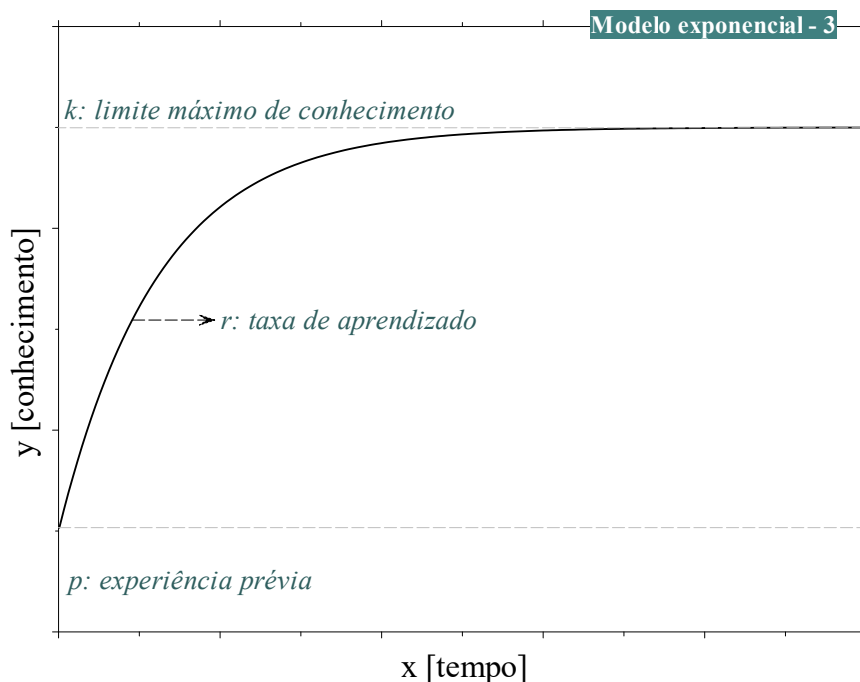
Esses são exemplos de modelos de curva de aprendizagem criados para medir quantitativamente o tempo e o desempenho do trabalhador na execução de tarefas. O modelo pioneiro de Wright, por sua flexibilidade, foi modificado, adaptado e empregado para diferentes fins, a depender da necessidade e aplicabilidade. Dentre os principais empregos da curva de aprendizagem, destacam-se a alocação de recursos produtivos, avaliação da experiência prévia, a programação da produção, os cálculos de prazos de conclusão de tarefas e o monitoramento de custos associados à produção.

Por outro lado, dentre os modelos exponenciais mais difundidos, merecem destaque: o exponencial de três parâmetros, o exponencial de dois parâmetros e o de tempo constante. Nesse sentido, Knecht (1974) propôs a utilização combinada de funções exponenciais e potenciais, buscando aprimorar a modelagem de processos caracterizados por longa duração. Segundo essa abordagem, o modelo exponencial de três parâmetros é dado por:

$$y = k \left\{ 1 - \exp \left[\frac{-(x + p)}{r} \right] \right\} \quad (2.12)$$

em que y é o desempenho do indivíduo na execução de determinada tarefa, expresso em unidades produzidas após x unidades de tempo de operação ($y \geq 0$), x denota o tempo de operação na tarefa, expresso em unidades de tempo ($x \geq 0$), k é o limite de desempenho quando a aquisição de conhecimento for integral, p designa a experiência prévia na execução da tarefa em questão, expresso em unidades de tempo ($p \geq 0$), e r quantifica a taxa de aprendizado (ANZANELLO, 2007). A Figura 14 ilustra o modelo exponencial-3, representado pela equação 2.12, ao ponto que um comportamento assintótico é observado, partindo-se de um conhecimento inicial (p) até atingir o limite para uma determinada tarefa (k).

Figura 14 - Curva de aprendizagem.



Fonte: adaptado de Anzanello (2004).

A Tabela 1 sintetiza os principais modelos matemáticos utilizados para avaliar a curva de aprendizagem ou desempenho de um trabalhador em uma dada tarefa.

Tabela 1 – Resumo das características dos modelos de curvas de aprendizado univariados.

Modelo	Forma	A	B	C	D
Hiperbólico-2	$y = k[x/(x+r)]$	2	•		
Hiperbólico-3	$y = k[(x+p)/(x+r)]$	3	•	•	
Exponencial-3	$y = k(1 - e^{-(x+p)/r})$	3		•	
Tempo constante	$y = y_c + y_f(1 - e^{-x/t})$	3		•	
Potencial	$y = Cx^{-b}$	2			
Plateau	$y = B + Cx^{-b}$	3			
Stanford-B	$y = C(x + b)^{-b}$	3		•	
Dejong	$y = C[M + (1-M)x^{-b}]$	3	•		•
Curva-S	$y = C[M + (1-M)(x+B)^{-b}]$	4	•		•

A: N° parâmetros; B: Modelagem de esquecimento; C: Experiência prévia; D: Participação de máquinas

Fonte: Adaptado de Anzanello (2004).

Foi possível observar que os modelos citados não representam a influência do ambiente ou dos agentes estressores expostos no ambiente sobre a curva de aprendizagem. Em outras palavras, para os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1, o ambiente é considerado um espaço ideal, onde apenas os fatores relacionados a pessoa ou ao trabalhador são levados em consideração, como por exemplo, o conhecimento prévio ou a taxa de aprendizado de um indivíduo exposto naquela atividade. Em vista do panorama apresentado, outro ponto importante a ser ressaltado, é o uso conjunto dos indicadores de curva de aprendizagem e fluxo de conhecimento, uma vez que a taxa de variação da curva de aprendizagem remete o fluxo de conhecimento. Esses dois indicadores analisados de forma conjunta podem gerar informações mais ricas para a organização em termos de tempo, eficiência e lucro.

Com o passar do tempo, o eixo (y) da curva de aprendizagem, conhecido como desempenho em uma dada atividade, sofreu generalizações para poder ser aplicado em outros contextos, sendo interpretado como internalização do conhecimento e/ou conhecimento acumulado, concentração, proficiência e afins. No contexto de conhecimento, a taxa de progressão aumenta rapidamente no início e depois diminui ao longo do tempo. Isso descreve uma situação em que a tarefa pode ser fácil de aprender e a progressão do aprendizado é inicialmente rápida. A progressão se nivela à medida que o aluno obtém proficiência total. Isso pode ser descrito como um platô, onde o indivíduo não está mais progredindo. Pode sinalizar também que o aluno atingiu um limite em sua capacidade ou que uma transição pode estar ocorrendo (VALAMIS, 2022). A ilustração da curva de aprendizagem em formato exponencial pode ser encontrada em (FLETCHER, A, 1996 *apud* BRUNO, F. D. S. 2017).

Com base na revisão apresentada até aqui, será apresentado no capítulo 3, a concepção de um artefato do tipo modelo com a finalidade de cobrir as lacunas relacionadas a métrica, análise de efeito combinado dos agentes estressores do ambiente e uso conjunto dos indicadores de curva de aprendizagem e fluxo do conhecimento.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo serão discutidos os aspectos e conceitos fundamentais relacionados aos procedimentos metodológicos adotados na tese. Além disso, a aplicação do método de pesquisa *Design Science Research* será descrita com detalhes, com o intuito de prover o desenvolvimento do artefato.

3.1 ABORDAGEM CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

As pesquisas científicas e tecnológicas estão intrinsicamente conectadas, dado que, é a complementaridade entre ambas que fornece aporte às inovações tecnológicas, e, sob o ponto de vista de Cupani (2011), para o qual a técnica está relacionada aos conhecimentos pré-científicos, enquanto que a tecnologia se fundamenta em bases científicas, fomentando as revoluções científicas. Apesar destas interações entre as pesquisas científica e tecnológica, suas definições podem partir de premissas distintas. Pode-se afirmar que a pesquisa científica está mais voltada à produção e avanço do conhecimento científico, atuando diretamente na compreensão e interpretação da realidade, estando muito mais ligada às teorias científicas, que, por serem refutáveis, podem sofrer alterações (CUPANI, 2006 *apud* CUPANI, 2011; FREITAS JUNIOR, 2014). Por outro lado, conforme Teixeira (2007), Cupani (2011) e Freitas Junior (2014), a pesquisa tecnológica está atrelada ao desenvolvimento de produtos, planejamento e construção, operação e configuração, sejam eles artefatos físicos palpáveis e, tal qual a científica, também os intelectuais, que visem o controle e/ou a transformação da realidade. Os autores reiteram que esse tipo de pesquisa pode ser considerado mais precisa do que a científica, devido aos objetivos aos quais se propõe, nesse caso, visando a solução do problema.

Tanto a pesquisa científica quanto a tecnológica dispõem das ferramentas que permitem a elaboração de hipóteses, resolução de problemas, coleta de dados, análise de dados e resultados, identificação de oportunidades e tomada de decisão baseada em fatos (JUNG, 2004; TEIXEIRA, 2007).

Segundo os conceitos discorridos, com respeito à classificação, a presente pesquisa caracteriza-se como tecnológica, tendo em vista que o objetivo final é composto pelo desenvolvimento de um novo produto, planejamento ou artefato, além da utilização de fatores não previstos teoricamente que serão detectados de forma experimental. Desta forma, no que

tange o desenvolvimento do artefato, optou-se pela aplicação do método *Design Science Research* que será abordado na seção subsequente.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA - DSR

A forte competitividade entre as organizações as obriga a uma constante busca pela modernização nos métodos de gestão da informação e do conhecimento, adotando como alvo a excelência em seus processos informacionais. Essa nova visão da gestão do conhecimento pode ser estendida além das organizações privadas, de modo que as instituições públicas, principalmente àquelas envolvidas com o ensino e a pesquisa, como as universidades e institutos federais, têm a necessidade de inovação contínua, transcendendo o nível de informação. É nesse contexto, dentro da busca pela máxima qualidade nos processos de gestão da informação e do conhecimento, que o método *Design Science Research* (DSR) está sendo utilizado por instituições e corporações (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015).

Não muito distante, em meados dos anos 2000, as engenharias e ciências exatas concentravam o desenvolvimento de suas pesquisas apenas nas metodologias tradicionais, de descrição, observação, qualificação, quantificação e avaliação, largamente empregadas nas ciências naturais e no campo da ciência do artificial, da construção de artefatos (HEVNER; MARCH; PARK, 2004). Entretanto, já em 1996, Simon considerava a necessidade de se criar uma metodologia científica, com um corpo de conhecimento rigoroso e validado, capaz de propor formas de como construir artefatos que tenham adequadas propriedades, ou seja, um método apropriado para projetá-los. De acordo com o autor, ao projeto interessa o quê e como as coisas devem ser, a concepção de artefatos que realizem objetivos. O autor referia-se a uma *Design Science* (do inglês, ciência do projeto).

A *Design Science* seria a solução às pesquisas em sistemas de informação (SI). Contudo, no entendimento de Peffers, Tuunanen e Gengler (2006), era preciso um modelo que atendesse a três objetivos: ser consistente com a literatura anterior, entregar um modelo de processo nominal para fazer pesquisa em DS e, aprovisionar um modelo mental para apresentar e apreciar a pesquisa em DS em SI. De acordo com esses autores, o método válido deve conter seis etapas: identificação do problema e motivação, objetivos para uma solução, projeto e desenvolvimento, avaliação e comunicação. Esses objetivos e etapas confirmariam um dos paradigmas da ciência do *design*, referidos pelos pesquisadores Hevner, March. e Park (2004),

que busca estender os limites do ser humano e capacidades organizacionais, criando modelos conceituais e artefatos inovadores.

A *Design Science* é a base epistemológica quando se trata do estudo do que é artificial (HEVNER; MARCH.; PARK, 2004). Já a metodologia *design science research* tem se apresentado como uma abordagem válida, principalmente na área de tecnologia e gestão da informação e conhecimento quanto à definição. Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) conceituam a referida metodologia como sendo o método que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição. Ainda, na produção do conhecimento, há que findar a tensão na relação teoria-prática. Sendo assim, enquanto método válido, Carneiro (2020) afirma que a DSR visa o projeto e a produção de artefatos para transformar situações e propor soluções, bem como promover a aproximação entre a teoria e a prática.

Visando a materialização da pesquisa inerente ao desenvolvimento do presente trabalho, através da concepção e construção de um artefato, um método eivado de mesmo rigor científico que as metodologias tradicionais pode ser utilizado, aliando teoria e prática sem abrir mão da produção do conhecimento, como proposto pela metodologia DSR (PEFFERS; TUUNANEN; GENGLER, 2006 *apud* BARBOSA; BAX, 2017).

Ainda, em âmbito metodológico, a DSR se aplica em pesquisas que operam com conhecimento multidisciplinar, principalmente em cenários envolvendo: problemas complexos relevantes, que consideram o contexto em que seus resultados (BURGOYNE; JAMES, 2006); estudos relacionados às organizações, como um dos principais modos de conceber o conhecimento e de realizar pesquisas científicas (ROMME, 2003). Além desse contexto, são apresentados, na sequência, os principais tipos de artefatos, como a finalidade de apresentar um panorama geral, antes da aplicação do método propriamente dito.

Entendendo que um dos objetivos da DSR é promover conhecimento para a concepção e desenvolvimento de artefatos, importa, aqui, uma breve explicação de como a ciência define artefato. *A priori*, a ciência pode ser dividida em dois campos: a natural e a artificial.

No intuito de bem definir esse conceito, Simon (1996) preleciona que as ciências do artificial se ocupam da concepção de artefatos que realizem objetivos. De acordo com o autor, mesmo parecendo dicotômicas, as ciências naturais e as ciências do artificial não se opõem, pelo contrário, se complementam, pois, (...) os artefatos não estão fora da natureza, não dispondo de qualquer permissão para ignorar ou violar as leis naturais. Ainda, o autor sentencia

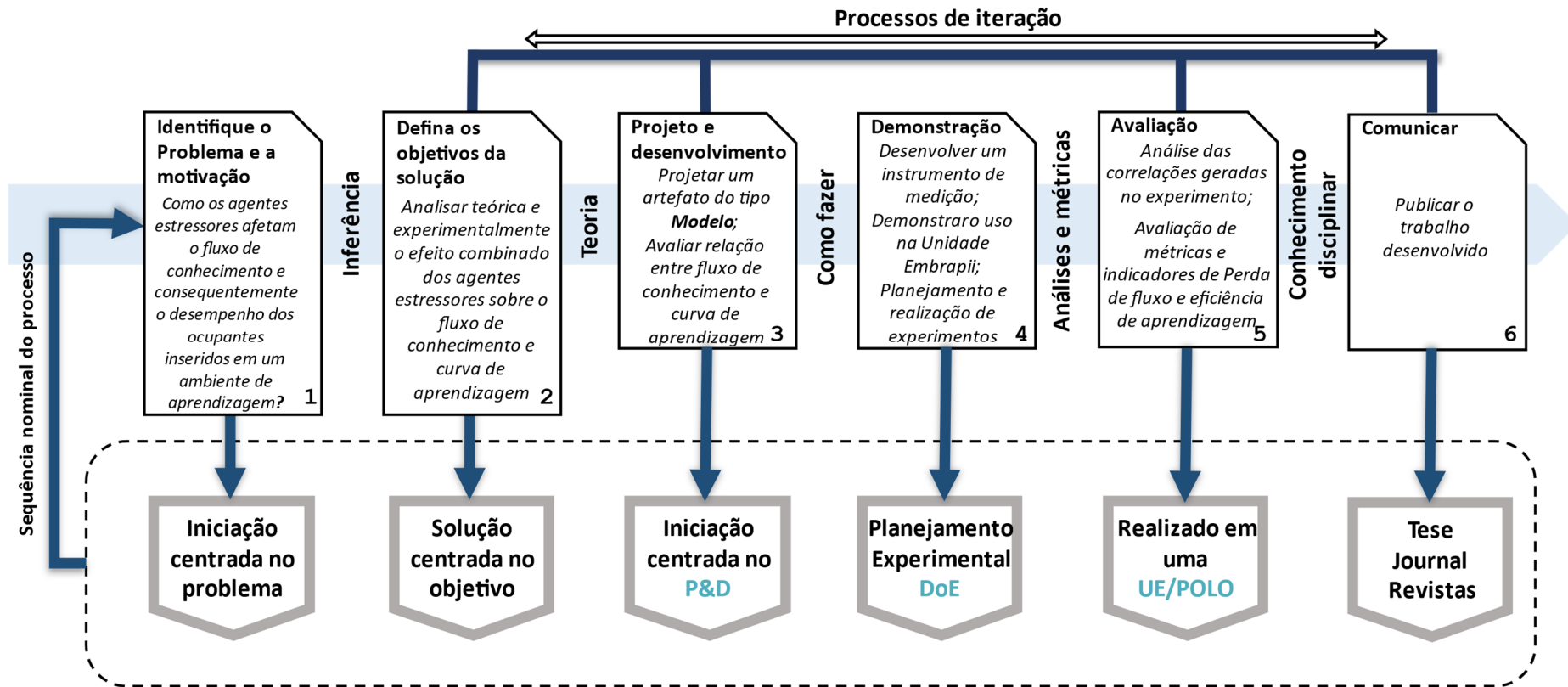
que o mundo em que vivemos hoje é muito mais artificial, fabricado pelo homem, do que natural. Com esse pensamento, o autor define artefato como sendo algo que foi produzido ou inventado pelo homem, sofrendo intervenções deste.

Como já mencionado, a pesquisa baseada em *design science* deve produzir um artefato viável, na forma de um constructo, modelo, método e/ou uma instanciação. Este trabalho engloba a proposição de um modelo capaz de avaliar o fluxo de conhecimento e a curva de aprendizagem e suas instanciações, com validação experimental, e, contando ainda com a elaboração de um programa computacional que inclui uma interface com o usuário. A definição de modelo para a DSR é descrita na citação abaixo.

Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Em atividade de *design*, modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são. Cientistas naturais muitas vezes usam o termo “modelo” como sinônimo de “teoria”, ou “modelos” como as teorias ainda incipientes. Na DSR, no entanto, a preocupação é a utilidade do modelo, não a aderência de sua representação à verdade. Não obstante, embora tenda a ser impreciso sobre detalhes, o modelo precisa sempre capturar a estrutura da realidade para ser uma representação útil (MARCH e SMITH, 1995).

Dessa forma, a condução da DSR foi realizada de acordo com a concepção de Hevner, March e Park (2004); Peffers, Tuunanen e Gengler, (2006) e Lacerda *et al.* (2013), culminando no desígnio do processo, que pode ser visualizado com detalhes na forma de um fluxograma por meio da Figura 15.

Figura 15 – A condução da *Design Science Research*.



Fonte: Do autor.

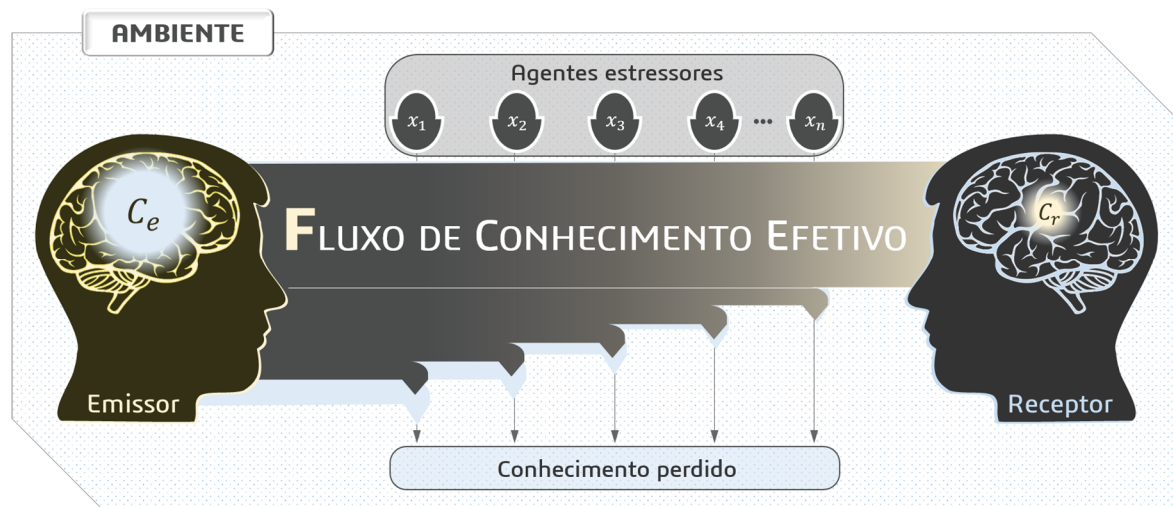
3.2.1 Identificação do problema e motivação

A pesquisa *Design Science* (do inglês, ciência de projeto) objetiva o desenvolvimento de soluções fundamentadas no natural e artificial e, conseqüentemente, o desenvolvimento de tecnologia para resolver o problema em questão. Nesta etapa, define-se o problema de pesquisa específico e justifica-se a importância de estudá-lo. Ainda, é necessário que o problema seja compreendido e definido de forma clara e objetiva (PEFFERS *et al.*, 2007).

Problema: Como os agentes estressores afetam o fluxo de conhecimento e, conseqüentemente, a curva de aprendizagem, em um ambiente organizacional?

Ilustração do Problema: O problema em questão é ilustrado de forma clara e objetiva por meio do diagrama de Sankey, apresentado na Figura 16, onde C_e representa o conhecimento do emissor e C_r o do receptor. Além disso, os agentes estressores são representados pela variável x_i , onde o subíndice i representa os diferentes agentes presentes no ambiente.

Figura 16 – Efeito dos agentes estressores entre o ponto emissor e receptor.



Fonte: Do autor.

Origem do problema: Nessa instância, buscou-se, por meio da revisão de literatura, modelos de fluxo de conhecimento com base fenomenológica para avaliar os agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem. Estudos sobre a análise do fluxo de conhecimento são amplamente encontrados na literatura, porém para diferentes domínios de aplicação. No domínio organizacional, interesse desta pesquisa, Ilovici e Hochanadel (2003)

propuseram um modelo do fluxo de conhecimento com base fenomenológica e solução analítica, no âmbito de uma organização com um time de gerenciamento de projetos. Entretanto, o único fator relacionado aos efeitos causados pelo ambiente foi a distância entre o emissor e o receptor, não abrindo o estudo para outros fatores que podem evidenciar as interferências causadas pelos agentes estressores do ambiente. Semelhante ao modelo anterior, Huang (2007) propôs um modelo de fluxo de conhecimento aplicado em comunidades de prática. Novamente, o único fator relacionado aos efeitos causados pelo ambiente foi a distância entre o emissor e o receptor. Posteriormente, outros estudos propostos por Bulnes (2006), Bevilacqua *et al.* (2010) e Santos (2015), envolvendo soluções numéricas para problemas de base fenomenológica, progrediram no estudo sobre modelos de fluxo de conhecimento, trazendo a inclusão de novos coeficientes para avaliar a distância e a posição espacial. Entretanto, os modelos propostos ainda não captam os efeitos dos agentes estressores do ambiente. Além da revisão sobre modelos de fluxo de conhecimento com base fenomenológica, também foram explorados, durante a revisão no capítulo 2, alguns tipos de técnicas e ferramentas relacionados ao problema de pesquisa em questão. Por fim, também foi realizada uma revisão sobre modelos de curva de aprendizagem capazes de avaliar o impacto dos agentes estressores, onde não foram encontrados trabalhos que oferecessem uma solução direta para o problema de pesquisa, sobretudo no que diz respeito à influência do ambiente. Dessa forma, se faz necessário o desenvolvimento de um modelo de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem que computem as perdas de fluxo de conhecimento de forma quantitativa, causadas pelos agentes estressores encontrados em um ambiente de aprendizagem.

Justificativa do problema: Nessa instância, conforme elucidado anteriormente, o estudo em questão pretende cobrir a lacuna deixada pela literatura no que tange a análise dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, e, desta forma, contribuir com novas pesquisas no âmbito interdisciplinar. Outra justificativa é que o modelo de negócio Embrapii exige como indicador principal a agilidade nas entregas dos projetos, ao ponto que os membros das equipes de projetos e o próprio ambiente laboratorial devem funcionar em plena consonância. Para que isso ocorra, o resultado da pesquisa consiste no desenvolvimento de uma análise, através do modelo de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, que permita um diagnóstico da organização, apontando os principais fatores passíveis de correção através de uma classificação dos ambientes e indicadores de perda de fluxo.

3.2.2 Definição dos objetivos voltados a solução

Esta etapa é onde inferem-se os objetivos da solução proposta a partir da definição do problema e do entendimento de um artefato que seja viável e possível de ser executado (PEFFERS *et al.*, 2007). É importante ressaltar que os objetivos gerais e específicos aqui são voltados ao desenvolvimento do artefato do tipo modelo, que por sua vez, pretende atender o objetivo geral da pesquisa.

Objetivo geral da solução

Analisar teórica e experimentalmente o efeito combinado dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem.

Objetivos específicos

- i.* Elaborar um modelo matemático para medir o efeito dos agentes estressores do ambiente sobre o fluxo de conhecimento;
- ii.* Avaliar a relação entre fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem;
- iii.* Desenvolver um instrumento para viabilizar a implementação do modelo proposto;
- iv.* Aplicar o modelo para mapear os efeitos dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem em uma unidade Embrapii.

3.2.3 Projeto e desenvolvimento do modelo

O desenvolvimento do modelo irá adotar como base epistêmica a abordagem introduzida por Huang (2007). A escolha do modelo deve-se, principalmente, pelo domínio de análise organizacional abordado no trabalho e pela etapa de validação experimental. Durante esta etapa de desenvolvimento, de forma macroscópica, pode-se dizer que o modelo contou com três versões, sendo a primeira uma interpretação dos modelos encontrados na literatura, a segunda decorrente das modificações necessárias para satisfazer o objetivo da pesquisa, e, por fim, uma terceira versão levando em consideração a interação com o modelo de curva de aprendizagem, evidenciada nas primeiras etapas.

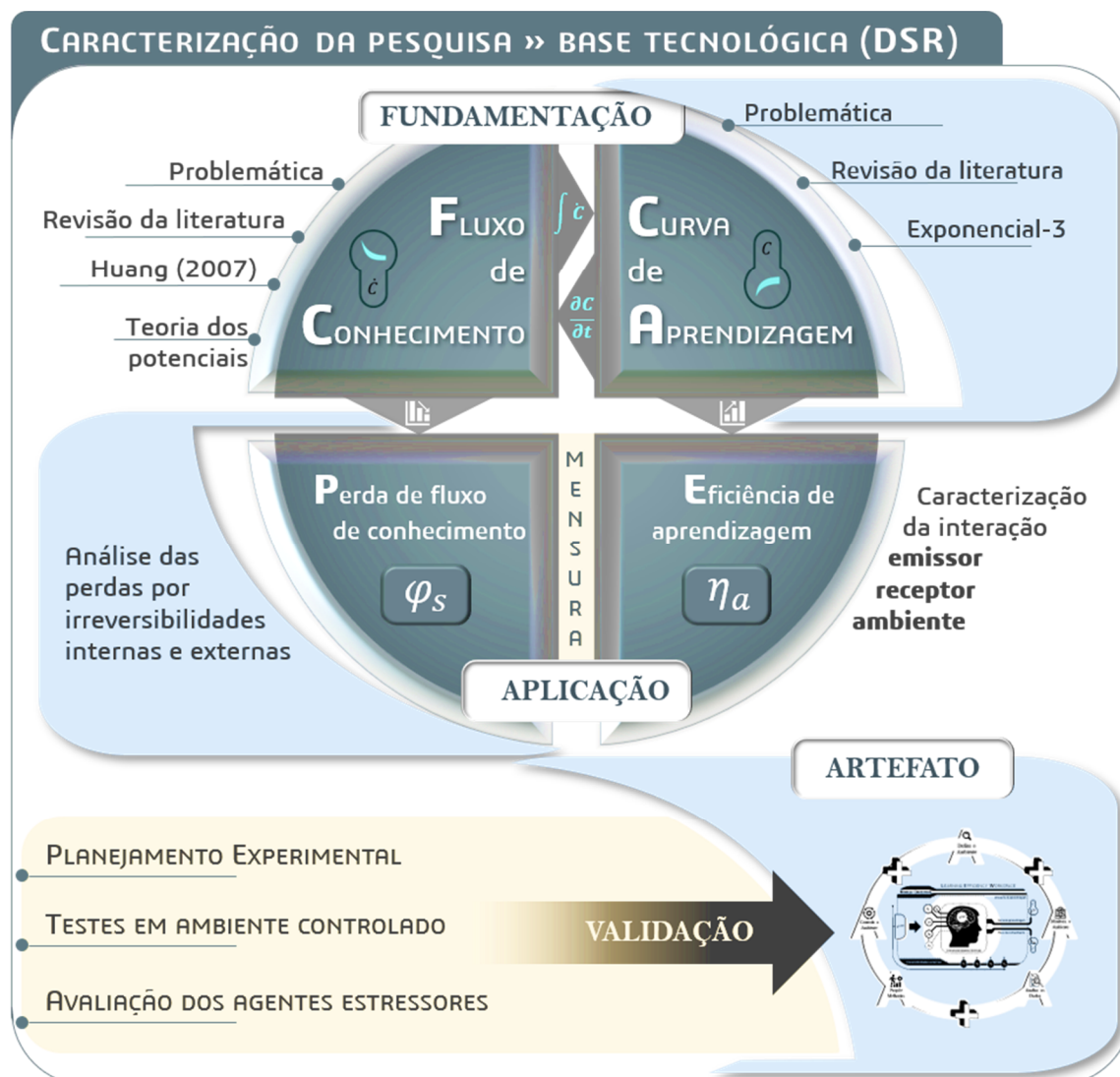
Por conseguinte, de posse do modelo, a revisão integrativa da literatura contribuiu na definição do escopo do modelo e dos requisitos necessários para atingir os objetivos da solução. Nesse contexto, é possível afirmar que alguns modelos de fluxo de conhecimento tangenciaram o problema, como os modelos de Ilovici e Hochanadel (2003), Bulnes (2006) e Bevilacqua *et al.* (2010), que fazem alusão ao fluxo de conhecimento no domínio organizacional. Entretanto, os modelos encontrados não avaliam o efeito combinado dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento, reafirmando a necessidade da concepção de um novo modelo. A Figura 17 ilustra de forma detalhada o caminho percorrido para formulação da solução do problema de pesquisa. Basicamente, o caminho percorrido ao longo do infográfico foi dividido em três dimensões de análise, descritas por:

- i. **Dimensão fundamental**, responsável por contemplar a compreensão e o desenvolvimento do modelo do fluxo de conhecimento, este embasado em modelos fenomenológicos de análise, bem como sua interação com o modelo de curva de aprendizagem, em âmbito de conceitualização;
- ii. **Dimensão de aplicação**, onde são definidos os indicadores quantitativos para análise da interação entre o ambiente e o processo de transferência de conhecimento;
- iii. **Dimensão de validação**, contempla o planejamento experimental para validação do modelo matemático que representa os agentes estressores, bem como a materialização.

Na primeira dimensão verificou-se que, por meio de uma reformulação matemático, é possível partir do modelo de fluxo de conhecimento proposto por Huang (2007) e chegar no modelo de curva de aprendizagem, análogo ao modelo exponencial-3 e vice-versa. Esse processo interativo entre fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem amplia a aplicação de novos indicadores para a análise do efeito combinado dos agentes estressores do ambiente.

Na segunda dimensão, por meio do modelo do fluxo de conhecimento, é possível obter um indicador de perda de fluxo, que equivale a perda de tempo em uma dada atividade devido a influência dos agentes estressores. Por outro lado, através da curva de aprendizagem, é possível obter a eficiência de aprendizagem, que está diretamente relacionada com o tempo excedente na aquisição do conhecimento. O desenvolvimento do modelo, bem como a interação entre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, será apresentado no capítulo 4.

Figura 17 – Dimensões de análise da pesquisa.



Fonte: Do autor.

Na terceira dimensão é realizada a etapa de validação experimental do modelo, composta pelo planejamento DoE (*Design of Experiments*, do inglês) e pela execução dos experimentos dentro de uma sala climatizada, que, por sua vez, permite o controle das variáveis independentes (temperatura, ruído e iluminância) em diferentes patamares.

Finalmente, este artefato, concebido na forma de modelo, permite a construção de um conhecimento útil no sentido pragmático de modo amplo, que seja efetivamente aplicável pela e para a sociedade. Ainda, de acordo com Lacerda *et al.* (2013), o principal resultado desta etapa é o modelo em estado funcional.

3.2.4 Demonstração em ambiente relevante

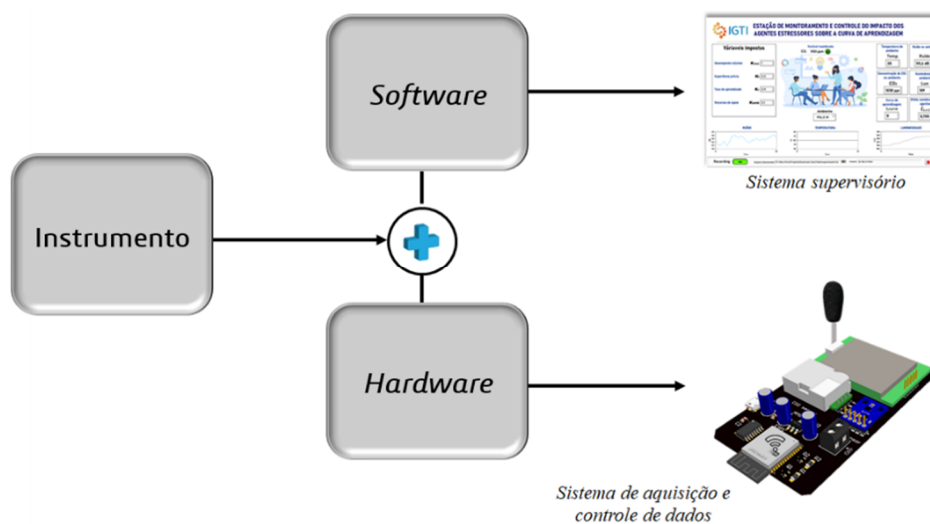
Uma unidade Embrapii (Empresa brasileira de pesquisa e inovação industrial) foi organização escolhida para fazer a demonstração do modelo. Para tanto, a primeira etapa desta seção consiste no detalhamento da criação de um instrumento para mensurar os agentes estressores (*i.e.*, temperatura, ruído, iluminância e nível de dióxido de carbono) presentes no meio.

3.2.4.1 Instrumento de medição dos agentes estressores

Esta fase conta com o desenvolvimento de um instrumento capaz de aferir os dados do ambiente e transmitir a informação dos indicadores do modelo para o usuário.

A parte frontal do sistema supervisorio (*front end*, do inglês) foi projetada para atender as necessidades do usuário por meio de uma interface gráfica, responsável por ilustrar, de forma intuitiva, os dados coletados por um sistema de aquisição dedicado. Assim, o instrumento tem por função essencial a comunicação entre os dados lidos e a informação entregue ao usuário por meio da integração *software/hardware*, conforme ilustra a Figura 18.

Figura 18 – Composição do instrumento.



Fonte: Do autor.

Os sistemas supervisorios e aplicativos vêm ganhando cada vez mais espaço, nas mais diversas áreas da ciência. Partindo dessa afirmação, independentemente do tamanho da

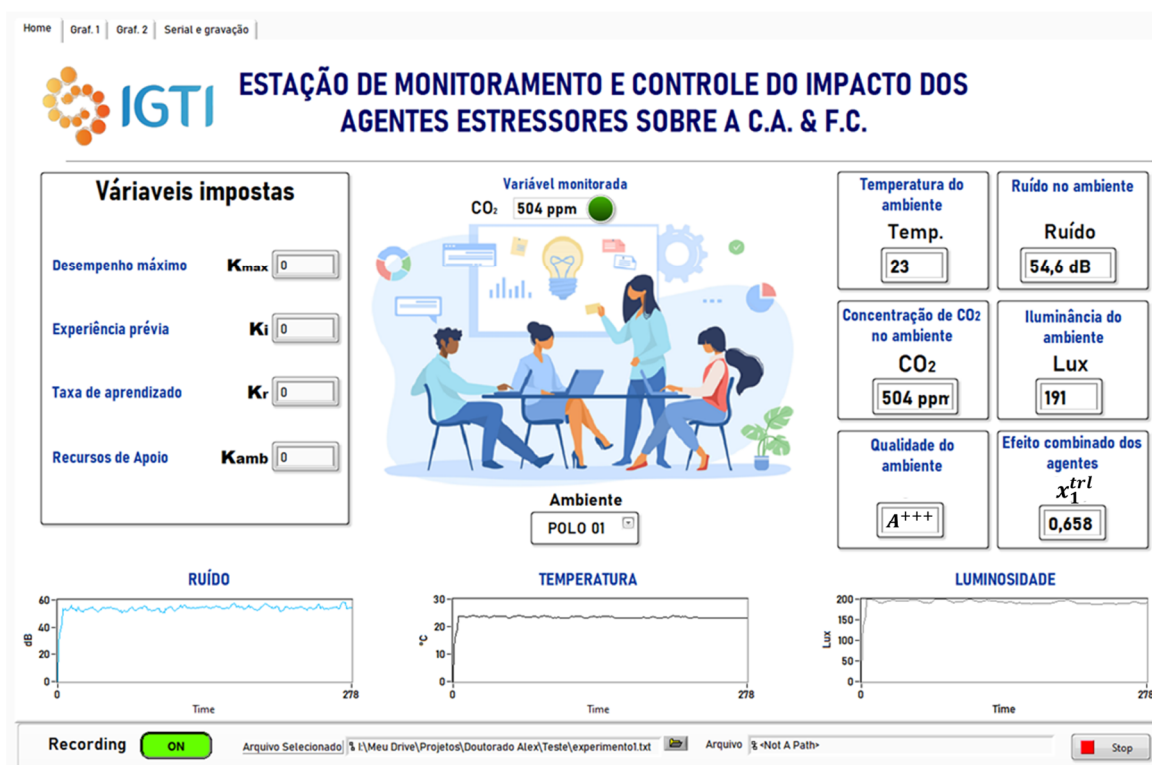
organização, adotar *softwares* de gestão é uma importante iniciativa para quem deseja economizar tempo, ter informações assertivas e tomar decisões com agilidade. O mesmo é válido para a área de engenharia e gestão do conhecimento. Dessa forma, assim como os engenheiros mecânicos, civis e de automação, por exemplo, que usam diversos *softwares* para auxiliá-los em seus serviços, o engenheiro do conhecimento também precisa de ferramentas com a mesma plenitude, capazes de fornecer as informações mais relevantes para o desenvolvimento de um projeto. É importante perceber a iniciativa deste uso como um investimento na organização, promovendo um melhor controle e análise de dados, o que contribuirá para a tomada de decisões importantes pela equipe de trabalho.

Diferentes ferramentas podem ser utilizadas no desenvolvimento do instrumento, entretanto, no trabalho em questão, a plataforma LabView® foi adotada, devido a disponibilidade da ferramenta na unidade Embrapii avaliada. O painel *front-end* ilustrado pela Figura 19 traz uma visão geral do programa desenvolvido, mostrando a interface com o usuário.

Com esta ferramenta, o usuário pode selecionar o nome do ambiente onde será realizada a avaliação da qualidade do ambiente e, também é possível inserir de forma fácil os valores dos coeficientes utilizados na equação. A aquisição das variáveis temperatura, ruído e iluminância foi realizada por meio de sensores calibrados e de um sistema de aquisição de dados de baixo custo, porém com acesso *wireless*, permitindo monitoramento e integração IoT (do inglês, *Internet of Things*). O modelo e os seus coeficientes são calculados pelo programa no painel *back-end*, em um tempo amostral definido.

Além disso, a ferramenta dispõe de um módulo de monitoramento do nível de concentração de CO₂ no ambiente. Caso este ultrapasse os limites estabelecidos na correlação, o sistema emite um alerta para o usuário, garantido que a equipe de projeto trabalhe sob níveis de dióxido de carbono que não comprometam a concentração ou qualquer outro dano cognitivo relacionado a aprendizagem. O instrumento, já em fase funcional, permite ainda o armazenamento de todos os coeficientes e variáveis de interesse para análise e pós-processamento dos dados. Por fim, com os valores de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem calculados no próprio *software*, o mesmo classifica o ambiente em termos de eficiência de aprendizagem, obedecendo uma escala desenvolvida especificamente para esta pesquisa. A escala será melhor detalhada no capítulo 5, juntamente com os resultados da análise da qualidade dos ambientes avaliados.

Figura 19 – Sistema supervisorio.



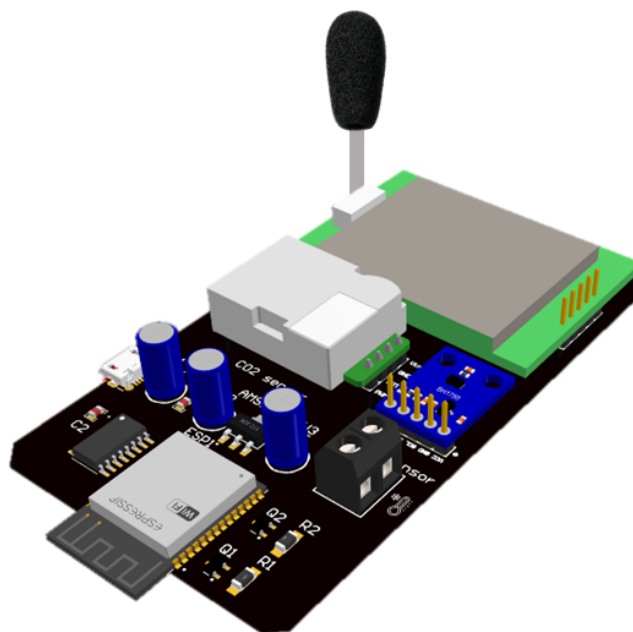
Fonte: Do autor.

O *hardware* pode ser entendido como a parte física de um computador, é formado pelos componentes eletrônicos, como por exemplo, circuitos de fios e luz, placas, utensílios auxiliares, correntes, e qualquer outro material em estado físico, que seja necessário para fazer com o que computador funcione. Entretanto, o *hardware* não se limita apenas a computadores pessoais, também está disponível em automóveis, celulares, tablets e afins (MARÇULA, 2010).

Neste estudo, antes de desenvolver o projeto do *hardware*, buscou-se realizar uma análise de mercado para avaliar sensores de baixo custo, atendendo o nível de acurácia desejado. Além disso, realizou-se uma avaliação sobre a plataforma eletrônica a ser utilizada. Apesar do baixo custo de implementação via Arduino, optou-se por fazer um novo projeto do *hardware* a fim de customizar a aplicação. Após uma avaliação sobre os processadores disponíveis no mercado, optou-se pela aquisição do ESP32. Aliando o baixo consumo energético, boa conectividade *wireless* e facilidade de programação através da IDE do Arduino já presentes em seu antecessor, o ESP32 conta também com funcionalidades extras como: maior poder de processamento, maior memória RAM para execução de programas, conectividade *wireless* complementada com *Bluetooth Low Energy* (baixo consumo de energia) e com possibilidade

de utilizar diferentes sensores, como por exemplo, sensores de temperatura, efeito Hall e toque capacitivo. A Figura 20, abaixo, ilustra o projeto da PCB (do inglês, *Printed Circuit Boards*) realizado na plataforma Altium designers.

Figura 20 – Ferramenta FPI.



Fonte: Do autor.

Além da interface de comunicação com o *software*, o *hardware* é capaz de realizar a aquisição de temperatura, ruído, iluminância e CO₂ de forma simultânea. É importante ressaltar que todos os sensores foram devidamente calibrados. A próxima seção ressalta o planejamento para realização dos experimentos, bem como uma visão geral do aparato experimental.

Para medir a temperatura ambiente, foi utilizado um sensor digital modelo DS18B20, com encapsulamento do tipo sonda e revestimento hidrofóbico, como mostrado na Figura 21. O sensor funciona através do protocolo *1-wire*, que por definição necessita apenas uma conexão além do GND (*ground*, do inglês). Além disso, o sensor também consegue obter energia diretamente do barramento de dados, sem exigir cabos exclusivos para alimentação, o que facilita sua implementação do ponto de vista de *hardware*. Outra vantagem é que cada sensor possui um código serial de 64 *bits*, o que permite a utilização múltiplos sensores em um único barramento de comunicação.

Figura 21 – Sensor de temperatura DS18B20.



Fonte: Manual do Fabricante DS18B20.

Para aferir o ruído presente no ambiente, foi escolhido o módulo SM7901 que conta com uma sonda, um transdutor e a placa eletrônica. A sonda é posicionada no local de interesse para captar o ruído e a placa, por sua vez, é responsável por converter o sinal do transdutor em uma saída analógica proporcional ao nível de ruído do ambiente em dB. Na Figura 22, a seguir, podemos observar o módulo eletrônico e seu transdutor.

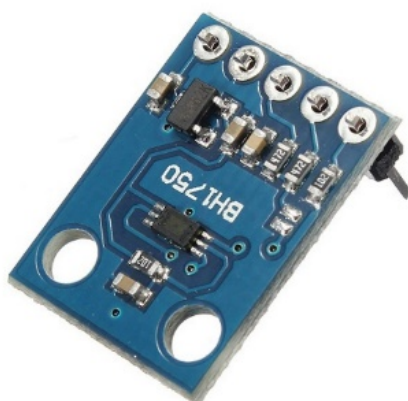
Figura 22 – Sensor de ruído.



Fonte: Manual do Fabricante SM7901B.

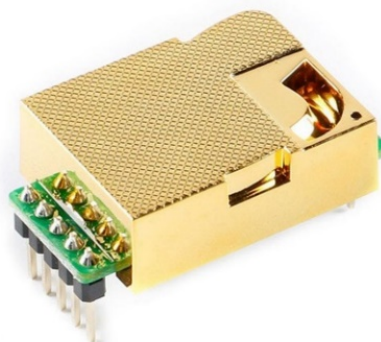
Para medir a luminosidade, o sensor modelo BH1750FVI foi utilizado, o sensor possui comunicação I²C (do inglês, Inter-Integrated Circuit). O sensor conta com conversor analógico-digital embutido, de 16 bits, que permite uma alta faixa de medição e resolução de 1 – 65535 lx. Além disso, a resposta espectral do sensor é semelhante à do olho humano, sendo pouco afetada pelo tipo de fonte de luz (*e. g.*, sol, lâmpada LED ou incandescente). Para facilitar a utilização do sensor, optou-se pela versão embarcada, com os componentes básicos necessários para seu funcionamento. O módulo pode ser visto na Figura 23 abaixo.

Figura 23 – Sensor de luminosidade.



Fonte: Manual do Fabricante.

Para medir a concentração de CO₂ no ambiente, foi utilizado o sensor MH-Z19C, que se baseia no princípio infravermelho não dispersivo. Este sensor pode ser calibrado mediante sua estabilização em ambiente externo e ventilado, onde a concentração de CO₂ da atmosfera é usada como ponto de calibração devido ao seu valor conhecido e próximo de 400 ppm. Uma imagem do sensor pode ser vista na Figura 24.

Figura 24 – Sensor de CO₂.

Fonte: Manual do Fabricante MH- Z19C.

O sensor possui tanto saídas UART (do inglês, *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) e PWM (do inglês, *Pulse Width Modulation*), sendo adotada a comunicação serial para as medições.

A seguir, a Tabela 2 apresenta as faixas de medição e precisão dos sensores utilizados nesta pesquisa.

Tabela 2 – Faixas de Medição e precisão dos sensores.

Sensor	Unidade	Faixa de Medição	Acurácia
DS18B20 - Temperatura	°C	-10 – 85	± 0,5
SM7901 - Ruído	dB	30 – 130	± 3%
BF1750VI - Iluminância	lux	1 – 65535	± 1
MH-Z19C - CO ₂	ppm	400 – 5000	± 50

O desenvolvimento da análise da qualidade da medição foi feito com base no guia para expressão de incerteza de medição do Inmetro, ISOGUM (2008). Foram considerados os dois tipos de fonte de incerteza nesta avaliação: as incertezas inerentes ao sistema de medição (u_{med}) e as incertezas relacionadas a repetição de medição (u_{rep}). Assim, com base nas duas componentes, a incerteza combinada pode ser expressa através da seguinte equação:

$$u_c(Y) = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{u_{med}^2 + u_{rep}^2} \quad (3.1)$$

Onde $u_c(Y)$ é a incerteza padrão combinada da variável Y e u_i é a parcela de incerteza padrão.

A incerteza padrão expandida é calculada a partir da equação 3.2, levando em conta a incerteza padrão gerada multiplicada pelo fator de abrangência (k), proveniente da distribuição Gaussiana, ou normal. No presente trabalho, para corresponder a um nível de confiança de 95,45 %, o valor de $k = 2$ foi adotado no presente trabalho. Como o número de amostras obtidas no presente trabalho ultrapassa 100 pontos, a distribuição normal foi adotada, ao invés de *t-Student*, que se aplica a conjuntos menores de dados.

$$U(Y) = k u_c(Y) \quad (3.2)$$

Onde $U(Y)$ é a incerteza expandida e k o fator de abrangência.

A parcela de incerteza referente à repetitividade foi calculada com base no desvio padrão experimental das médias de 150 medições estabelecidas em condições de regime permanente para as variáveis de interesse. Tal relação é apresentada na equação 3.3.

$$u(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \frac{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - \bar{x}_i)^2}{n}} \quad (3.3)$$

Onde:

$u(\bar{x}_i)$ = Incerteza padrão relativa à repetibilidade

n = Número de medições

$x_{i,k}$ = Valor instantâneo da variável

\bar{x}_i = Média aritmética das n medições

A parcela de incerteza associada ao sistema de medição foi abordada considerando-se o nível de acurácia fornecido pelos fabricantes dos instrumentos de medição como sendo a incerteza referente ao instrumento. Geralmente, tais dados são indicados na forma de um percentual com referência no fundo de escala. Entretanto, como se pretende apenas aferir a incerteza padrão do instrumento, faz-se a operação inversa da incerteza expandida (equação 3.2). Ao invés do fator de abrangência k , relacionado à confiança em termos percentuais, é possível utilizar o *t-Student*, se desejado.

$$u(x_i) = \frac{a}{k} \quad (3.4)$$

Onde a é a incerteza do instrumento de medição.

Todavia, se não há informações suficientes a respeito dos dados que se deseja tratar, e sabe-se apenas que a medição (x_i) está num intervalo de $\pm a$, é possível adotar o fator $k = \sqrt{3}$. Isso garante, com um nível de confiança de 100 %, que todas as medições estejam dentro do valor estimado. Aplicando-se essa consideração na equação 3.4, obtém-se:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (3.5)$$

No presente trabalho, as curvas de ajuste, ou curvas de calibração, foram obtidas através do método dos mínimos quadrados, tomando como base valores conhecidos dos mensurandos ($V_{padrão}$) e correlacionando com o sinal (faixa de tensão ou corrente) fornecido

pelo instrumento de medição. A partir disso, é necessário então avaliar as incertezas dos valores calculados ($V_{calculado}$) a partir desta curva. A relação que devemos nos ater é a seguinte:

$$u(x_i) = \sqrt{\frac{\sum(V_{padr\tilde{a}o} - V_{calculado})^2}{N - (1 + GP)}} \quad (3.6)$$

Onde:

$V_{padr\tilde{a}o}$ = Valor padrão conhecido do mensurando

$V_{calculado}$ = Valor calculado a partir da curva de ajuste

N = Número de pontos considerados no ajuste da curva

GP = Grau do polinômio da curva

A Tabela 3 apresenta os valores das incertezas combinada e expandida para as variáveis analisadas.

Tabela 3 – Incertezas de medição das variáveis.

Variável	Unidade	Incerteza combinada [u_c]	Incerteza expandida [U] ($k = 2$ $P = 95,45\%$)
Temperatura	°C	± 0,6	± 0,8
Ruído	dB	± 3,0	± 6,0
Iluminância	Lux	± 2,0	± 3,0
CO ₂	ppm	± 52	± 60

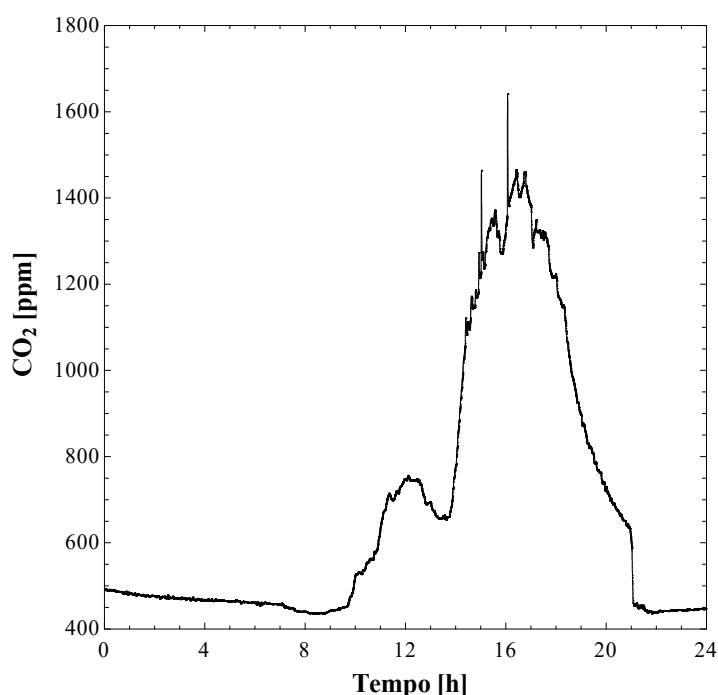
Os valores de incerteza apresentados na tabela apontam concordância com valores reais medidos pelo *hardware*, obedecendo a faixa de incerteza, concluindo que os valores de incerteza calculados são aceitáveis para a validação dos dados experimentais utilizados no estudo em questão. A próxima seção tem como objetivo apresentar a qualidade de medição das variáveis medidas.

3.2.4.2 Testes preliminares para avaliar a qualidade da medição

Para demonstrar o grau de qualidade das variáveis medidas foi realizado um ensaio preliminar em uma sala dentro da unidade Embrapii. A estação de medição permaneceu ligada,

adquirindo as medições para as variáveis de interesse (CO₂, iluminância, ruído e temperatura) ao longo de um período de 24 h. Dessa forma, além da qualidade de medição também foi possível avaliar a variação dos agentes estressores durante um dia corriqueiro de labor da equipe de projeto. A Figura 25 apresenta o comportamento da concentração de dióxido de carbono durante o ensaio.

Figura 25 – Monitoramento da concentração de CO₂.



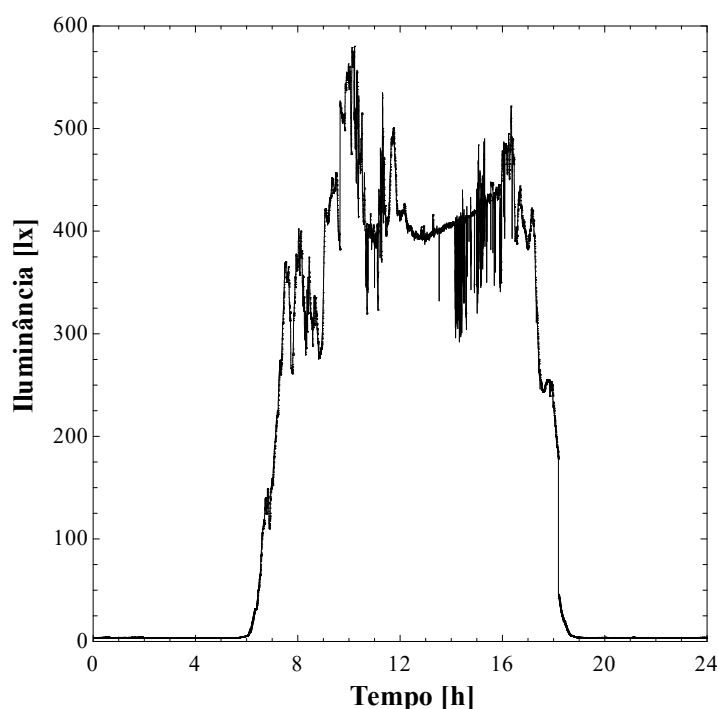
Fonte: Do autor.

O teste teve início às 0h e durante o período inicial que contempla o intervalo de 0 a 9 h não havia pessoas na sala. Por esse motivo, o valor de concentração de dióxido de carbono ficou abaixo de 500 ppm. Esse valor é próximo do resultado obtido no ambiente externo que foi aproximadamente 400 ppm. A partir de 9 h da manhã o ambiente passou a contar com a presença de um colaborador na sala. Isso fez com que o nível de CO₂ aumentasse, até atingir o pico de 800 ppm antes de iniciar o intervalo do almoço. No intervalo de almoço o nível de concentração de CO₂ começa a cair devido ao fato da sala permanecer vazia. Por volta das 13 h e 30 minutos inicia-se o turno vespertino de trabalho, onde o ambiente passou a ser ocupado por cinco integrantes do grupo de projeto. Durante esse período, a concentração de dióxido de carbono apresentou um aumento em ritmo acelerado, atingindo um novo patamar, da ordem de

1400 ppm. Já às 18 h, com o término do expediente, o nível de concentração de CO₂ começa a cair, retornando aos valores basais verificados do início do teste. É importante salientar que durante a execução do ensaio preliminar, que objetivou a validação do sistema de medição, foram identificados níveis de concentração de CO₂ excedendo os limites recomendados por norma. Essas variações da concentração de dióxido de carbono sinalizam a importância de monitorar a qualidade do ambiente por pelo menos uma jornada de trabalho completa. Contudo, após um período de medição contínua, foi possível validar a qualidade de medição e aquisição dessa variável, uma vez que, o valor medido reflete as condições reais do ambiente analisado.

Além da qualidade de medição do CO₂ também foi possível a avaliar a iluminância. A Figura 26 apresenta os valores aferidos para o mesmo período de 24 h.

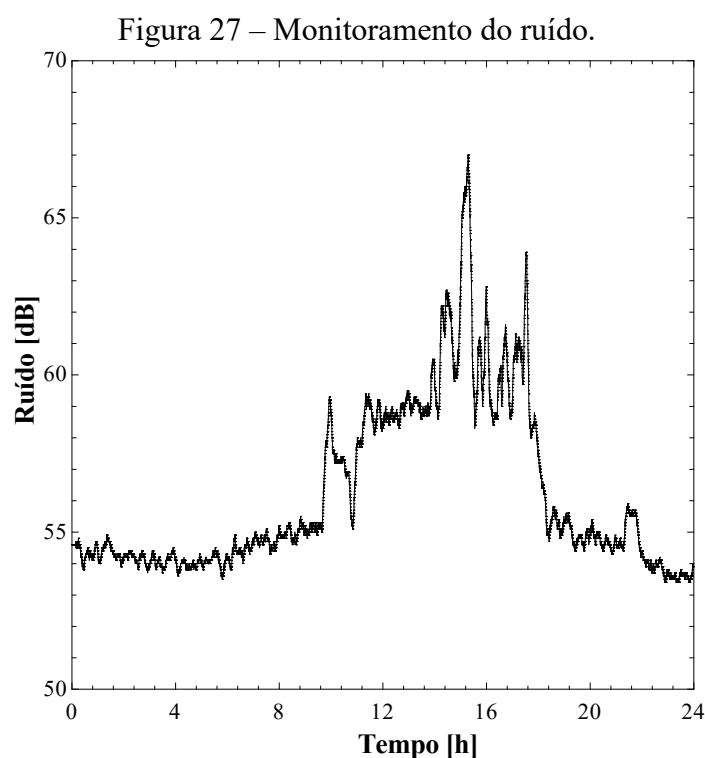
Figura 26 – Monitoramento da luminosidade.



Fonte: Do autor.

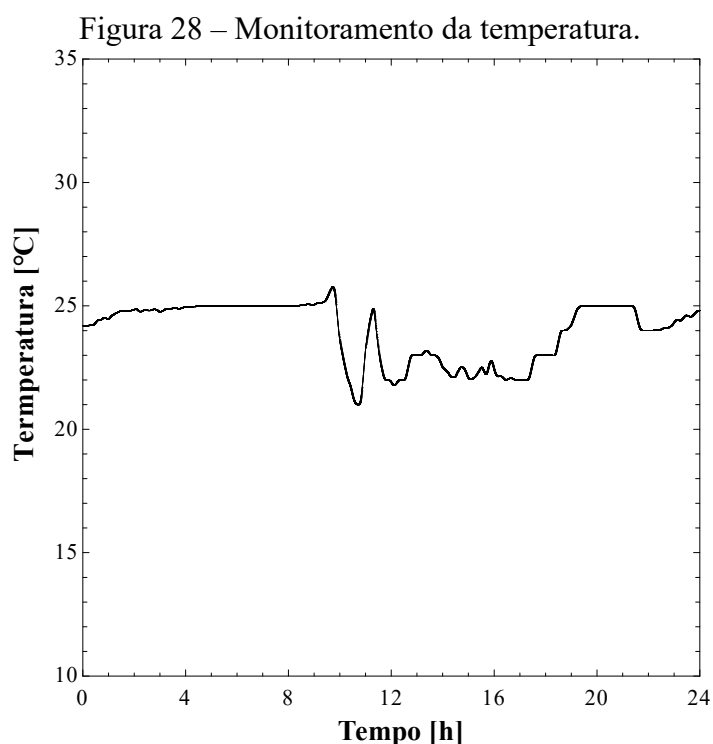
O ambiente avaliado recebe uma incidência de luz natural durante o dia, o que impacta diretamente nos valores de iluminância observados no período das 6 às 19 h, no gráfico acima. O valor médio de iluminância da sala avaliada é de aproximadamente 400 lux durante a jornada de trabalho. Para o ambiente avaliado, esse valor pode ser considerado aceitável. Além disso, também foi possível validar a qualidade de medição e aquisição dessa variável, uma vez que, o valor medido reflete as condições reais do ambiente analisado.

Dando sequência à análise de qualidade de medição, é possível observar na Figura 27 o monitoramento do nível de ruído do ambiente em análise. Durante o período noturno, o nível médio de ruído foi de aproximadamente 55 dB, já que a sala não estava ocupada, não havendo comunicação e/ou equipamentos ligados. Esse valor começa a aumentar no amanhecer, por volta das 8 h, e atinge picos próximo 65 dB das 15 h. É possível observar que o valor de ruído começa a baixar no final da tarde, devido ao desligamento de alguns aparatos experimentais usados durante o dia. Mais uma vez, o valor medido reflete as condições reais observadas durante o período de trabalho.



Fonte: Do autor.

Por último, mas não menos importante, a variável temperatura foi analisada. É possível observar na Figura 28 que durante o período de 0 a 9 h o condicionador de ar da sala permaneceu desligado. O aparelho foi ligado por volta das 9 h, onde a temperatura assumiu um valor médio de 23 °C durante o período de trabalho. Mais tarde, por volta das 18 h, é possível observar no gráfico que o aparelho foi desligado com a temperatura voltando para um patamar de 25 °C.



Fonte: Do autor.

Dessa forma, o objetivo de avaliar a qualidade de medição, bem como a aquisição desses dados por parte do *hardware* desenvolvido especificamente para neste trabalho, foi confirmado durante o ensaio proposto.

3.2.4.3 Demonstração do modelo

De posse do instrumento de medição em fase funcional, bem como sua validação experimental, o foco agora é voltado à organização escolhida como base para a pesquisa. Assim, antes de detalhar a unidade específica, uma visão geral do sistema Embrapii é introduzida.

Com o desafio de incrementar o desenvolvimento tecnológico objetivando minimizar a lacuna existente entre o setor público e privado via interação entre os agentes, o Estado brasileiro aderiu a um arranjo institucional conhecido por SNI (Sistema Nacional de Inovação). Conforme o entendimento de Freeman (1987 *apud* CASTRO; CAMPOS e GILABERT, 2017), o SNI se caracteriza como: “[...] a rede de instituições dos setores público e privado cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem”, sendo um conjunto de

instituições, atores e mecanismos de um país, que contribuem ativamente para o avanço e difusão das inovações tecnológicas.

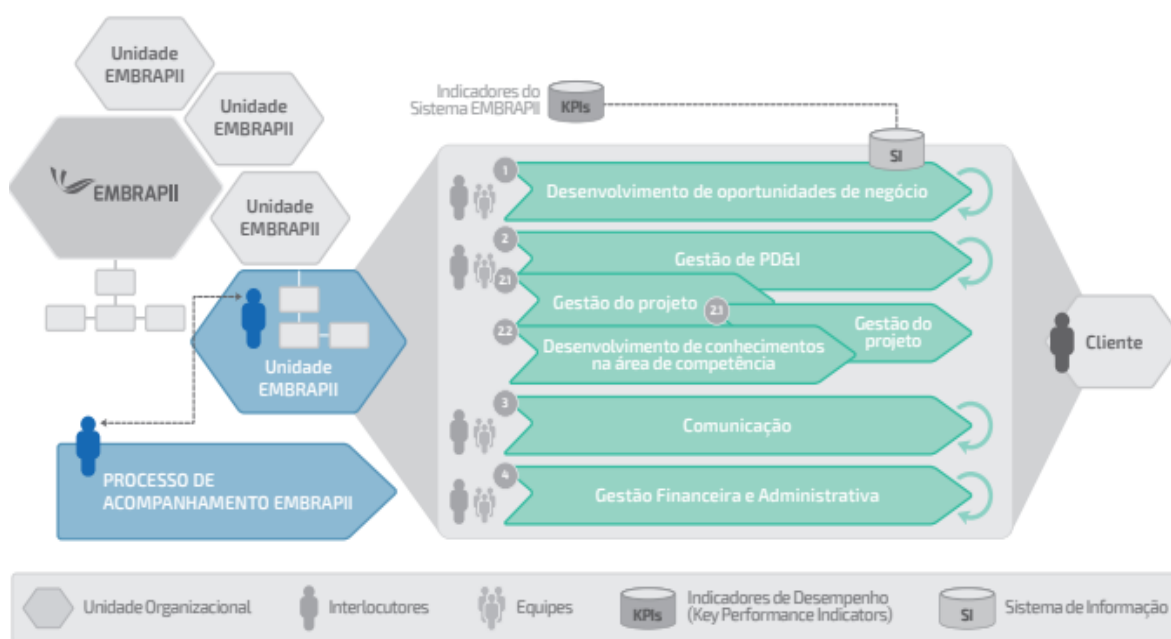
Com uma participação brasileira de 2,39% na produção científica mundial, além de instituições como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, o Brasil criou a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), pessoa jurídica de direito privado vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC do Governo Federal, através da Portaria 593 em 04 de agosto de 2011 (BRASIL, 2011). “A Confederação Nacional das Indústrias – CNI liderou a fase de criação da Embrapii e credenciou três Instituições de Ciência e Tecnologia – ICT para operacionalizarem essa fase piloto de inovação na indústria (FREITAS, 2017).

Com forte influência do sucesso da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, a Embrapii passou a ter predominância do setor privado na gestão, e conta com a participação de instituições tecnológicas com experiência no atendimento de demandas empresariais. Sua missão é apoiar instituições de pesquisa tecnológica, em suas áreas de competência, para que executem Projetos de Desenvolvimento, Pesquisa e Inovação (PD&I), em cooperação com empresas do setor industrial (CCTCI, 2011). Entende-se que os objetivos da Embrapii se diferem das outras formas de estímulo à inovação por procurar qualificar ICTs de forma direcionada e contínua para atenderem demandas por tecnologias já existentes no mercado (MARTINS, 2018).

A Embrapii visa promover a inovação das empresas, através do apoio às instituições de pesquisa tecnológica, em determinadas áreas de competência, de modo que os institutos tecnológicos executem projetos de desenvolvimento de pesquisa em cooperação com o setor industrial. A empresa possui um Sistema de Excelência Operacional (EOE) formulado para acompanhar e contribuir com o desenvolvimento das Unidades Embrapii (UEs), onde há a possibilidade de compartilhar e estimular a melhoria das práticas entre as UEs. O sistema possui três pilares que contribuem para uma melhora operacional, sendo estes: (i) atendimento de demandas tecnológicas, (ii) indução tecnológica e (iii) geração de competência. O EOE possui três modelos: sendo um modelo de processos de negócio, um modelo de atores e um conjunto de indicadores de desempenho (KPIs). Esses modelos são criados e gerenciados pelos pilares. A Figura 29 apresenta uma visão geral do funcionamento do sistema e seus elementos (EMBRAPII, 2020).

Em suma, o EOE é uma referência para sistemas de gestão, específico para instituições de pesquisa apoiadas pela Embrapii. Ele descreve requisitos operacionais para uma Unidade Embrapii (UE) de forma a contribuir para a realização dos objetivos do sistema. Entretanto, as unidades credenciadas estão passando por modificações na forma de operação, e também de infraestruturas dos laboratórios, para atender o modelo de excelência criado pela Embrapii.

Figura 29 - Elementos EOE.



Fonte: Embrapii.

Por se tratar de uma Organização Social (OS), os recursos recebidos pela Embrapii deixam de ser considerados rubrica pública. Assim, os repasses feitos pela OS adquirem um caráter mais objetivo e menos burocratizado, analisando, acima de tudo, o desenvolvimento das tecnologias em ICTs (Instituições de Ciência e Tecnologia) requeridas pelos entes privados de forma direcionada, para atender as demandas do mercado. Pelas regras de financiamento dos projetos, a Embrapii pode investir até 1/3 das despesas das Unidades de Pesquisa - UP com projetos de PD&I com empresas, enquanto o restante é dividido entre a empresa parceira e a UP. Após processo seletivo, mediante chamadas públicas, as instituições aprovadas passam a ser denominadas como UE (Unidades Embrapii). Essas Unidades devem apresentar competência técnica, infraestrutura laboratorial, comprovar histórico de atuação de projetos em parceria com empresas e foco tecnológico (MARTINS, 2018).

Os recursos destinados à OS Embrapii advêm integralmente do MCTIC e do MEC. O fomento aos projetos de inovação via Embrapii ocorre em duas fases:

- i.* Consiste no credenciamento dos institutos públicos de pesquisa e universidades, as UEs.
- ii.* Os recursos financeiros do governo, na forma de subvenção econômica (não-reembolsáveis), entram na forma de financiamento de até 1/3 do total do projeto (VARRICHIO; TOSTO; VILLELA, 2019).

Em seguida, as UEs passam a operar e receber recursos para o atendimento de demandas por projetos de inovação em parceria com empresas nacionais e estrangeiras. Cada UE se compromete com a dedicação em um claro foco em determinada área de competência tecnológica, e com plano de ação adequado para o atendimento às demandas empresariais por inovação. Atualmente, a Embrapii possui 63 unidades e 9 Polos, os quais são selecionadas mediante editais periódicos segundo as competências estratégicas de interesse do governo e sua experiência na interação com projetos com o setor produtivo (MARTINS, 2018). Mesmo que a maioria dos requisitos sejam preenchidos, para se tornar uma unidade Embrapii a unidade passa por um período de melhorias e adaptação em nível de gestão e qualidade dos ambientes de inovação e aprendizagem. Assim, para se tornar uma unidade Embrapii credenciada, ou até mesmo se manter como unidade credenciada, é preciso estar alinhado ao modelo de negócio, passando por inúmeras auditorias durante a vigência do contrato, definidas pela própria Embrapii. Desse modo, as unidades já credenciadas reúnem esforços investindo na área de gestão do conhecimento, gestão de projetos e infraestrutura laboratorial, a fim de se adequar ao modelo de negócio Embrapii, buscando assim otimizar o desempenho dos trabalhadores quanto à qualidade do trabalho e ao prazo de entrega. Atrasos gerados durante as entregas dos projetos podem inclusive acarretar no cancelamento do credenciamento da unidade.

A contribuição deste estudo para o modelo de negócio Embrapii está alinhada a melhoria do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem nos laboratórios de inovação e aprendizagem das UEs. A maioria das UEs são compostas por laboratórios de inovação ocupados por agentes humanos e aparatos para ensaios experimentais. O principal problema encontrado nesses laboratórios são a má distribuição de iluminação, geração de diferentes níveis de ruído e geração de carga térmica. Para detalhar a experiência com a gestão de ambiente nas

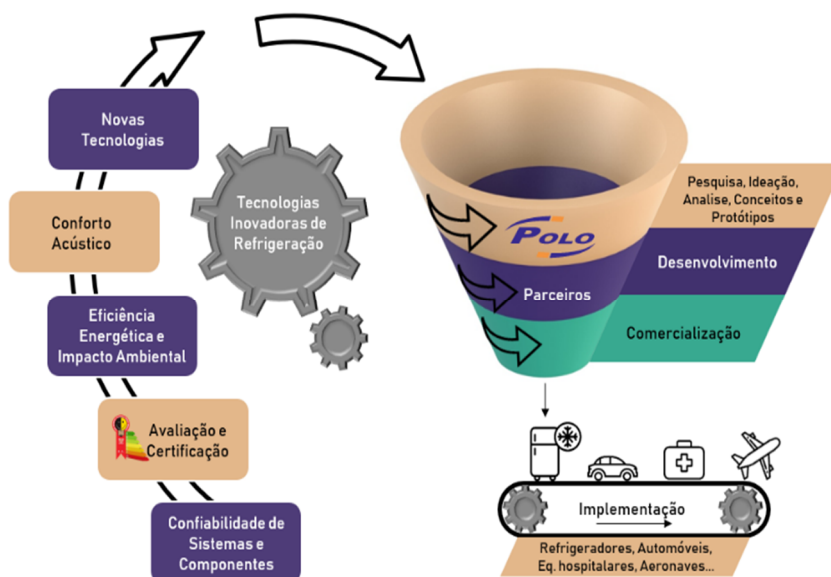
UEs, a unidade POLO/UFSC foi escolhida, caracterizando-se como campo de aplicação do estudo.

3.2.4.4 Unidade Embrapii POLO

O Laboratório de Pesquisa em Refrigeração e Termofísica (Polo) foi escolhido para aplicação desta pesquisa. Fundado em 1982 por professores da área de Ciências Térmicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em 2009 se tornou um Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT). Em 2014, a Embrapii credenciou o laboratório Polo, tornando o único INCT a ser uma UE na área de mecânica e manufatura.

As principais áreas de competência da organização escolhida são: (i) novas tecnologias; (ii) eficiência energética; (iii) impacto ambiental; (iv) conforto acústico e térmico; (v) confiabilidade de componentes; (vi) sistemas de refrigeração e (vii) avaliação e certificação. O processo de inovação industrial é ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Processo de inovação industrial Polo.



Fonte: Do autor (2018).

Os projetos são realizados por uma equipe multidisciplinar, com foco em sistemas domésticos e comerciais de refrigeração, condicionamento de ar ambiental, automotivo, e aeronáutico, entre outros nichos de aplicação.

Nos dias atuais, os 24 laboratórios estão distribuídos em um prédio próprio de aproximadamente 3.000 m² de área construída. Por se tratar de uma unidade Embrapii que opera concomitantemente com a universidade, os 24 laboratórios serão tratados nesta pesquisa como ambientes de inovação e aprendizagem.

Os projetos realizados na Unidade Embrapii Polo podem ser classificados como projetos dinâmicos, isto é, com um ciclo de vida curto. Logo, os efeitos relacionados aos agentes estressores do ambiente também possuem caráter dinâmico, o que implica em uma reavaliação da qualidade do ambiente a cada início de um novo ciclo de projeto. Atualmente, a organização escolhida para a análise conta com aproximadamente 150 colaboradores.

A organização está fortemente ligada aos desafios reais da indústria, formando engenheiros capacitados para a resolução de problemas complexos. Desta forma, o principal ativo ou produto dessa unidade é o conhecimento, seja na forma tácita (*e.g.*, embarcado nas redes neurais do indivíduo) ou na forma explícita (*e.g.*, através de relatórios de entrega dos projetos desenvolvidos).

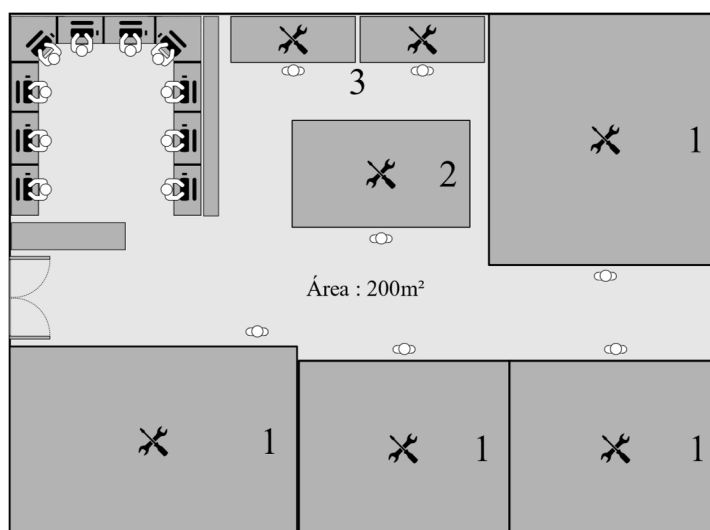
A infraestrutura laboratorial da unidade se destaca pela realização de atividades de P&D&I, contemplando uma variedade de aparatos experimentais que auxiliam na validação das pesquisas, e, conseqüentemente, na formulação de novos modelos teóricos, majoritariamente atuando na expansão da fronteira do conhecimento de uma subárea específica. Constitutivamente, os referidos aparatos experimentais atuam como fontes de geração de ruído e carga térmica, além de interferir na luminosidade das salas. Logo, os próprios aparatos experimentais podem influenciar na intensidade dos agentes estressores contidos no ambiente, gerando uma perda de desempenho dos ocupantes, reduzindo o nível exergético do colaborador.

Para ilustrar o problema em questão, 5 dos 24 laboratórios que compõe a organização foram selecionados de forma aleatória. A Figura 31 ilustra a distribuição das pessoas e dos aparatos experimentais dispostos na sala 1, denotados pela simbologia de ferramentas → ✂, bem como a área ocupada pelo espaço.

Toda área na sala 1 marcada com a simbologia de ferramenta faz referência aos aparatos que degradam o ambiente por conta da alteração dos indicadores dos agentes estressores, denotados no presente trabalho como agentes responsáveis pela geração de

irreversibilidades externas⁹. Para a sala 1, estes aparatos são compostos por câmaras climáticas (1), bancada elevadora (2) e bancadas para atividades técnicas (3). Subsequentemente, a sala 2, representada pela Figura 32, contempla cinco fontes de geração de irreversibilidades externas e quatro ocupantes, sendo composta por dois túneis de vento (1), uma bancada de formação de gelo via células termoeletricas (2) e uma bancada para atividades técnicas diversas (3).

Figura 31 – Sala 1.



Fonte: Do autor.

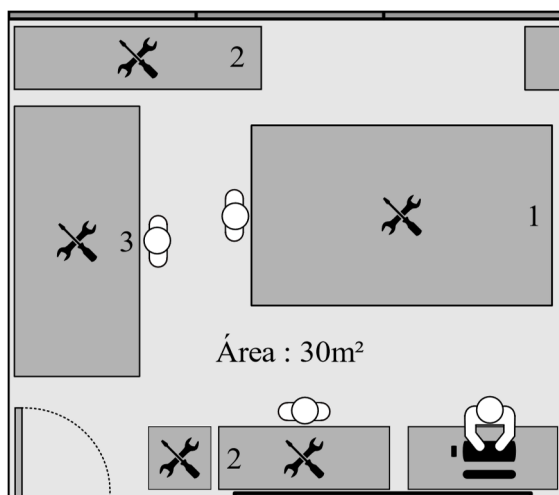
De forma geral, as atividades realizadas são desenvolvidas por um corpo técnico formado por professores, pesquisadores, engenheiros, técnicos e estudantes, estes a nível de doutorado, mestrado e graduação. Realizam-se pesquisas básicas e aplicadas para melhorar o desempenho de componentes e sistemas de refrigeração domésticos, comerciais, automotivos ou, até mesmo, aeronáuticos.

O laboratório de sistemas aeronáuticos (sala 3), representado pela Figura 33, possui dois túneis de vento de alta capacidade (1), além de um quadro elétrico de acionamento (2) e uma bancada para execução de trabalhos diversos (3). Basicamente, o aparato formado pelos túneis é responsável por mapear o desempenho do sistema aeronáutico de condicionamento em operação, fazendo uso dos túneis para emulação das condições observadas em campo.

⁹ Nesse caso, o termo “externas” toma o indivíduo como referência, sendo os agentes estressores do ambiente os responsáveis pela geração de irreversibilidades externas.

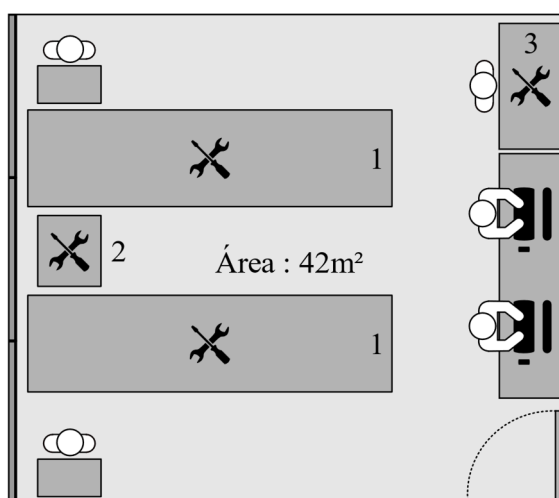
Geralmente, a operação desse aparato conta com elevados níveis de carga térmica adicionada ao ambiente (por isso o emprego de 2 condicionadores de ar) e geração de ruído em níveis nocivos. Esta sala é normalmente ocupada por quatro ou cinco colaboradores.

Figura 32 – Sala 2.



Fonte: Do autor.

Figura 33 – Sala 3.

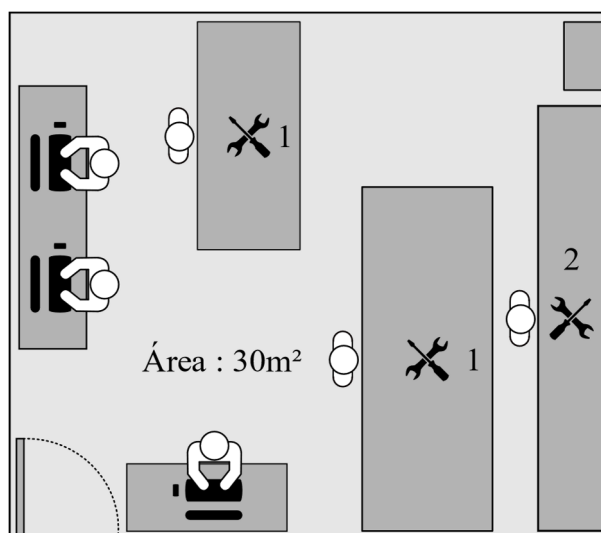


Fonte: Do autor.

Na sala 4 são desenvolvidas atividades de inovação na área de refrigeração magnética. A sala comporta dois protótipos de refrigerador magnético (1), que, de forma análoga à sala de sistemas aeronáuticos, são responsáveis pela degradação da qualidade do ambiente quando do desenvolvimento de atividades que envolvam o desenvolvimento e compartilhamento de

conhecimento. A Figura 34 ilustra a distribuição das pessoas e dos protótipos estudados dentro da área de refrigeração magnética.

Figura 34 – Sala 4.



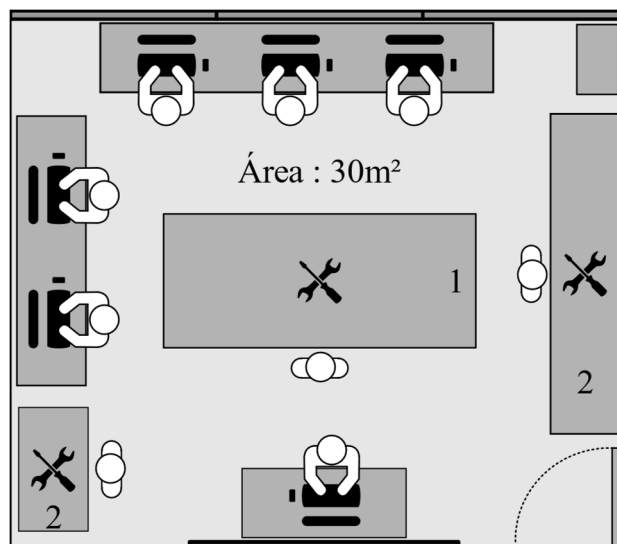
Fonte: Do autor.

A sala 5, representada pela Figura 35, está direcionada a atividades de desenvolvimento de novas estratégia de controle para sistemas de refrigeração e calorimetria de compressores. Essas estratégias de controle visam sobretudo minimizar o consumo de energia dos produtos de refrigeração doméstica e comercial leve, contando com a realização de testes *in situ* dos produtos a nível de entendimento do funcionamento, aplicação de novas tecnologias e otimização. A bancada experimental responsável pelo mapeamento calorimétrico de compressores de baixa capacidade (1) fica situada no centro geométrico da sala, circundada pelos ocupantes.

É importante destacar que, por se tratar de um ambiente que mescla a vivência acadêmica e industrial, o conhecimento é difundido continuamente no sentido dos pesquisadores mais experientes para os novos entrantes, estes últimos sendo majoritariamente alunos de iniciação científica. Entretanto, por se tratar de um laboratório voltado para aplicações de engenharia mecânica/térmica, a influência dos aparatos experimentais em operação na degradação da qualidade do ambiente, percebida na variação dos agentes estressores, é inerente ao *modus operandi*. Assim, ao aliar ambas as atividades de difusão de conhecimento e materialização do mesmo via experimentos, é necessário levar em consideração a qualidade do

ambiente, visando a maximização do desempenho dos ocupantes, que é proporcional ao fluxo de conhecimento e velocidade de aprendizagem.

Figura 35 – Sala 5.



Fonte: Do autor.

Por conseguinte, é possível observar nessa breve descrição a presença de diferentes tipos de projetos e aparatos experimentais, que por sua vez, geram diferentes tipos de ruído e carga térmica ao ambiente, que podem estar acarretando em dificuldades de concentração e compartilhamento do conhecimento. Além disso, a climatização de todas as salas que compõe o conjunto de vinte e quatro laboratórios da organização é realizada através de ar condicionado do tipo *Split* que não oferece nenhum tipo de renovação de ar. Esse ponto pode ser um agravante com relação ao nível de concentração de CO₂, principalmente em salas menores com maior número de ocupantes. Como visto anteriormente, altos níveis de concentração de CO₂ podem levar o indivíduo à perda de concentração, ou até mesmo causar outros sintomas como sonolência, náuseas e intoxicação. Nessa direção, o estudo de Prestrelo *et al.* (2017) mostrou que órgãos públicos necessitam de renovação de ar nas salas climatizadas com sistema de ar condicionado do tipo *split system*, para diluição dos níveis de dióxido de carbono e melhoria da qualidade do ar interno, e, conseqüentemente, melhoria do processo ensino e aprendizagem. Apesar do autor relatar sobre a melhoria no processo de ensino e aprendizagem, sua pesquisa não apresenta nenhuma comprovação experimental neste aspecto, o que fomenta o desenvolvimento de pesquisas neste âmbito.

Após essa breve introdução à organização, iniciou-se a visita nos vinte e quatro laboratórios que compõem a parte de inovação da unidade Embrapii, com a finalidade de ensaiar o funcionamento e funcionalidades do modelo/instrumento. Para facilitar a medição nas salas, foi desenvolvida uma estação de medição para apoiar *hardware* e o *notebook*, utilizados para executar o *software*. Durante a visita nas salas, a estação de medição ficou posicionada, sempre que possível, no centro geométrico.

Com relação à operação do instrumento, o mesmo demonstrou ser capaz de realizar as medições de temperatura, ruído, iluminância e CO₂ dentro dos níveis de incerteza esperados.

A Figura 36 apresenta uma visão geral do instrumento em fase funcional realizando o monitoramento das variáveis durante a realização de uma reunião de *brainstorming* na Unidade Embrapii Polo.

Figura 36 – Aplicação do instrumento em fase funcional.



Fonte: Do autor.

Com relação as funcionalidades do *software*, os usuários sugeriram pequenas modificações no painel principal. Por se tratar de uma *interface* modular, essas modificações

foram realizadas *in situ*. Em suma, o instrumento apresentou boa aceitação pelos usuários, que destacaram, principalmente, o formato intuitivo do painel frontal. Por fim, toda parte de armazenamento de dados no arquivo para o pós-processamento dos dados também funcionou de acordo com o desejado. Desta forma, conclui-se nesta etapa que o instrumento pode ser utilizado por qualquer colaborador da organização, além de ser facilmente replicável. Além disso, o relatório gerado automaticamente fornece apoio aos gerentes de projeto tomarem decisões, no sentido da otimização do fluxo de conhecimento ou da eficiência de aprendizagem da equipe de projetos.

3.2.5 Comunicação da Pesquisa

A comunicação da pesquisa da *Design Science* deve ser apresentada de forma eficaz, tanto para o público mais orientado à tecnologia, quanto para aquele mais orientado à ciência natural. Nesta etapa, divulga-se o problema e sua relevância, o modelo concebido, sua utilidade e ineditismo, o rigor do projeto e a sua efetividade, e, para outros pesquisadores e outras audiências, quando apropriado.

Diante do exposto, a pesquisa foi comunicada através dos resultados ao longo do caminho percorrido pelo pesquisador na construção da tese com a adoção de resultados parciais divulgados com a publicação de artigos em eventos e relatório técnico.

A apresentação da proposta de tese no seminário interno do programa de pós-graduação no primeiro semestre de 2018 pode ser considerada como a primeira comunicação formal, não dos resultados, mas principalmente dos intentos e da temática.

A comunicação com a comunidade acadêmica iniciou-se com a publicação no *Brazilian Journal of development*, com o artigo intitulado *A CFD analysis proposal of the knowledge flow applied in the engineering areas*, em 2020. O artigo representou os primeiros esforços com respeito à revisão de modelos analíticos, bem como a forma de tentar representar o fluxo de conhecimento através da aplicação de técnicas CFD. Em seguida o trabalho foi selecionado pela editora Atena para compor parte do *E-Book: A Produção do Conhecimento na engenharia de Computação*, resultando em um capítulo de livro sobre fluxo de conhecimento.

Com relação a diretrizes para minimizar efeitos dos agentes estressores do ambiente, foi publicado um artigo no congresso EVR 2019 promovido pela ABCM. O artigo foi intitulado *Personal air conditioner: desenvolvimento e análise qualitativa da sensação térmica*. O escopo

do trabalho envolveu a construção de um aparato experimental compacto, análise térmicas com câmera infravermelho e avaliação do impacto térmico no corpo humano. Outros artigos que tangenciaram o tema também foram publicados no COBENGE 2018 (Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia), entretanto, na ocasião, a pesquisa aqui apresentada ainda se encontrava em fase embrionária.

A qualificação de uma tese pode ser considerada uma comunicação formal para a academia, ocorrendo em maio de 2021. Indicando, portanto, que a comunicação de um trabalho científico é feita durante etapas de seu desenvolvimento. Com relação à comunicação com seu público-alvo, foi efetivada com a confecção da primeira versão do artefato, este utilizado para extração dos resultados da pesquisa, sendo que o público-alvo foram os especialistas da unidade Embrapii Polo. A comunicação, portanto, irá perdurar tanto para a academia quanto para o mercado por meio de publicações científicas e técnicas.

Por fim, foi encaminhado para o departamento de inovação da UFSC, o SINOVA, que posteriormente o INPI, um pedido de registro de patente. É importante ressaltar que, na solicitação de pedido de depósito de patente, torna-se necessário que o inventor atente para o que diz a lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996.

4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Esta seção apresenta o desenvolvimento do modelo do fluxo de conhecimento com o objetivo de validar experimentalmente o efeito dos agentes estressores do ambiente. Para tanto, a primeira seção conta com uma descrição do procedimento experimental, realizado por meio do instrumento de medição, bem como o tratamento das variáveis envolvidas no processo. A segunda parte conta com a apresentação da funcionalidade do modelo a partir de uma representação conceitual. Por fim, a terceira parte conta com a formulação matemática, fazendo uso das informações obtidas via experimento.

4.1 ELABORAÇÃO E REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

A abordagem escolhida para o planejamento experimental foi o DoE (do inglês, *Design of Experiments*). Essa é uma abordagem estatística utilizada para a otimização da reação e do processo que permite a variação de diferentes fatores ao mesmo tempo, com o objetivo de selecionar o espaço de reação para obter os valores ideais.

A vantagem da implementação do DoE no desenvolvimento e planejamento desta pesquisa é que vários parâmetros de entrada, ou fatores, como temperatura, ruído e iluminância, podem ser avaliados de forma simultânea, identificando assim a combinação de fatores com maior impacto sobre o fluxo de conhecimento. A Tabela 4 ilustra as condições a serem abordadas pelo planejamento experimental.

Como os estudos com a aplicação do DoE geralmente requerem menos repetições experimentais, este ainda pode proporcionar um melhor entendimento do processo em menos tempo. Além disso, caso o experimento exija uma faixa mais ampla dos valores das variáveis, é possível aumentar o número de níveis, culminando em um maior número de ensaios.

Tomando como referência a Figura 37, os ensaios experimentais foram conduzidos em um ambiente controlado que oferece o controle de temperatura (3), ruído (2), iluminância (4) em diferentes níveis. Além disso, é possível monitorar e controlar o nível de CO₂ dentro desse ambiente através do cilindro de alimentação (5) aliado ao sistema de renovação de ar (6). O ambiente controlado é capaz de manter a temperatura ambiente dentro de uma faixa de 15 °C a 50 °C. A velocidade do ar em qualquer ponto dentro da sala não excede 0,25 m/s, simulando uma situação típica de convecção natural. O ambiente controlado é composto por um sistema

de refrigeração, um sistema de circulação de ar (ventiladores e dampers), um sistema de aquecimento (resistores elétricos) e um boiler (resistência elétrica submersa em um reservatório d'água). A temperatura interna do ambiente é medida através de cinco sensores de temperatura através da estação de medição (1). O controle é realizado através de um controlador do tipo PID (proporcional, integral e derivativo), que atua sobre as resistências elétricas posicionadas na saída do sistema de condicionamento de ar que opera continuamente. Um esquema do ambiente controlado, criado especificamente para realização dos ensaios experimentais, pode ser observado na Figura 37. Vale ainda ressaltar que a estação de medição (1) ficou posicionada no centro geométrico da sala com função de fazer o monitoramento e aquisição das variáveis de interesse. De acordo com as constatações de Silva (2020), a formação de círculos no ambiente de aprendizagem permite tanto ao professor (emissor), quanto aos alunos (receptores), estabelecerem uma relação mais interativa, ao romper a barreira hierárquica imposta pela disposição tradicional.

Tabela 4 – Planejamento experimental.

Experimentos	Temperatura [°C]	Ruído [dB]	Iluminância [Lux]
1	1	1	1
2	1	1	0
3	1	0	1
4	1	0	0
5	0	1	1
6	0	1	0
7	0	0	1
8	0	0	0
Níveis testados → 2			
Temperatura		1	20 °C
		0	35 °C
Ruído		1	40 dB
		0	100 dB
Iluminância		1	500 luxes
		0	30 luxes

Fonte: Do autor.

Os ensaios foram realizados com especialistas da unidade Embrapii de diferentes áreas de conhecimento, tais como: engenheiros da área de automação, mecânica e elétrica. Os ensaios foram realizados de acordo com a Tabela 4, alternando os níveis das variáveis de interesse. No total, foram realizados oito experimentos, compreendendo diferentes níveis de temperatura, ruído e iluminância.

Figura 37 – Ambiente controlado.



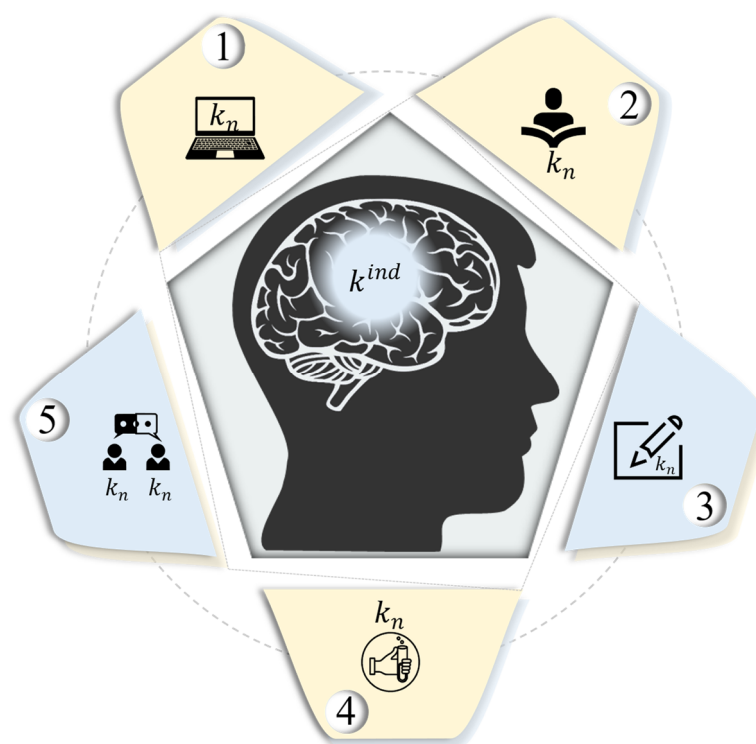
Fonte: Do autor.

O grupo de especialistas foi submetido à realização de atividades do próprio cotidiano, diretamente relacionadas com os projetos desenvolvidos na unidade Embrapii. Cinco dimensões de análise foram escolhidas: uso de ferramentas computacionais (1); atividade de leitura (2); atividade de escrita (3); atividade experimental (4) e interação interpessoal (5), conforme ilustrado pela Figura 38. As dimensões foram escolhidas com base em uma reunião com os especialistas da organização, de modo a captar os principais meios de busca de conhecimento (*knowledge node*) na realização das atividades relacionadas ao desenvolvimento de um determinado projeto dentro da unidade.

A avaliação foi feita às cegas, sem que os participantes soubessem exatamente os níveis exatos de temperatura, ruído e iluminância dentro do ambiente controlado, evitando o

risco de viés indesejado no experimento. O critério adotado para avaliação do coeficiente que representa o efeito combinado de temperatura ruído e iluminância, x_1^{trl} , foi o tempo de execução das atividades realizadas pelos especialistas.

Figura 38 – Dimensões de análise.



Fonte: Do autor.

O valor final apurado para o coeficiente x_1^{trl} para cada um dos oitos experimentos foi obtido por meio de análise de variância. Esse procedimento matemático foi adotado avaliar o desvio do resultado em cada um dos experimentos. Finalmente, os valores obtidos foram normalizados, para uma escala de 0 a 1. A Figura 39 representa a matriz para obtenção dos valores dos coeficientes representados por j_i .

A determinação dos coeficientes j_i foi realizada com o auxílio da ferramenta EES® (*Engineering Equation Solver*), por meio da aplicação do método dos mínimos quadrados. De posse dos coeficientes, a correlação obtida foi introduzida no modelo matemático e embarcada no instrumento desenvolvido, onde o coeficiente x_1^{trl} representa, no modelo proposto, a correlação obtida no DoE com função de avaliar o efeito combinado da temperatura, ruído e

iluminância sobre a curva de aprendizagem e fluxo de conhecimento. O coeficiente x_2^{dc} representa a correlação que avalia o efeito da concentração do dióxido de carbono no ambiente, considerando medições internas e externas ao ambiente. O último coeficiente que compõe o modelo é representado por αx_3^{exp} , que, por sua vez, expressa a influência de recursos tecnológicos e conhecimento explícito disposto no ambiente. Esse coeficiente foi obtido através de um formulário compartilhado com os ocupantes das 24 salas avaliadas. Para facilitar o preenchimento deste, os valores obtidos seguiram a pontuação da escala Likert¹⁰, posteriormente normalizada, assumindo valor final entre 0 e 1. Ao responderem um questionário baseado nesta escala, os perguntados especificam seu nível de concordância com uma afirmação. Esta escala tem seu nome devido à publicação de um relatório explicando seu uso, por Rensis Likert.

Figura 39 – Matriz DoE.

$$\begin{array}{l}
 x_1^{trl} = j_0 + j_1T + j_2R + j_3L + j_4TR + j_5TL + j_6LR + j_7TRL \\
 \text{1º Teste} \rightarrow x_1^{trl} = j_0 + j_11 + j_21 + j_31 + j_41 * 1 + j_51 * 1 + j_61 * 1 + j_71 * 1 * 1 \\
 \text{2º Teste} \rightarrow x_1^{trl} = j_0 + j_11 + j_21 + j_30 + j_41 * 1 + j_51 * 0 + j_60 * 1 + j_71 * 1 * 0 \\
 \text{3º Teste} \rightarrow x_1^{trl} = j_0 + j_11 + j_20 + j_31 + j_41 * 0 + j_51 * 1 + j_61 * 0 + j_71 * 0 * 1 \\
 \text{4º Teste} \rightarrow x_1^{trl} = j_0 + j_11 + j_20 + j_30 + j_41 * 0 + j_51 * 0 + j_60 * 0 + j_71 * 0 * 0 \\
 \text{5º Teste} \rightarrow x_1^{trl} = j_0 + j_10 + j_21 + j_31 + j_40 * 1 + j_50 * 1 + j_61 * 1 + j_70 * 1 * 1 \\
 \text{6º Teste} \rightarrow x_1^{trl} = j_0 + j_10 + j_21 + j_30 + j_40 * 1 + j_50 * 0 + j_60 * 1 + j_70 * 1 * 0 \\
 \text{7º Teste} \rightarrow x_1^{trl} = j_0 + j_10 + j_20 + j_31 + j_40 * 0 + j_50 * 1 + j_61 * 0 + j_70 * 0 * 1 \\
 \text{8º Teste} \rightarrow x_1^{trl} = j_0 + j_10 + j_20 + j_30 + j_40 * 0 + j_50 * 0 + j_60 * 0 + j_70 * 0 * 0
 \end{array}$$

Fonte: Do autor.

Com a obtenção dos três coeficientes que compõem a parcela do ambiente, representada por K^{amb} , é possível implementar o modelo no *software*. A demonstração de como foi obtido o termo que avalia o ambiente é imprescindível para compreensão do modelo

¹⁰ A escala Likert ou escala de Likert é um tipo de escala de resposta psicométrica usada habitualmente em questionários, sendo fortemente difundida em pesquisas de opinião.

matemático. Entretanto, atentes de abordar o desenvolvimento do modelo será a apresentado a seguir uma ilustração que representa a concepção do modelo por meio dos parâmetros de entrada e saída.

4.2 APRESENTAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

Para facilitar a etapa de entendimento e desenvolvimento do modelo matemático, uma ilustração conceitual é proposta na Figura 40, ilustrando uma visão geral dos parâmetros de entrada e saída.

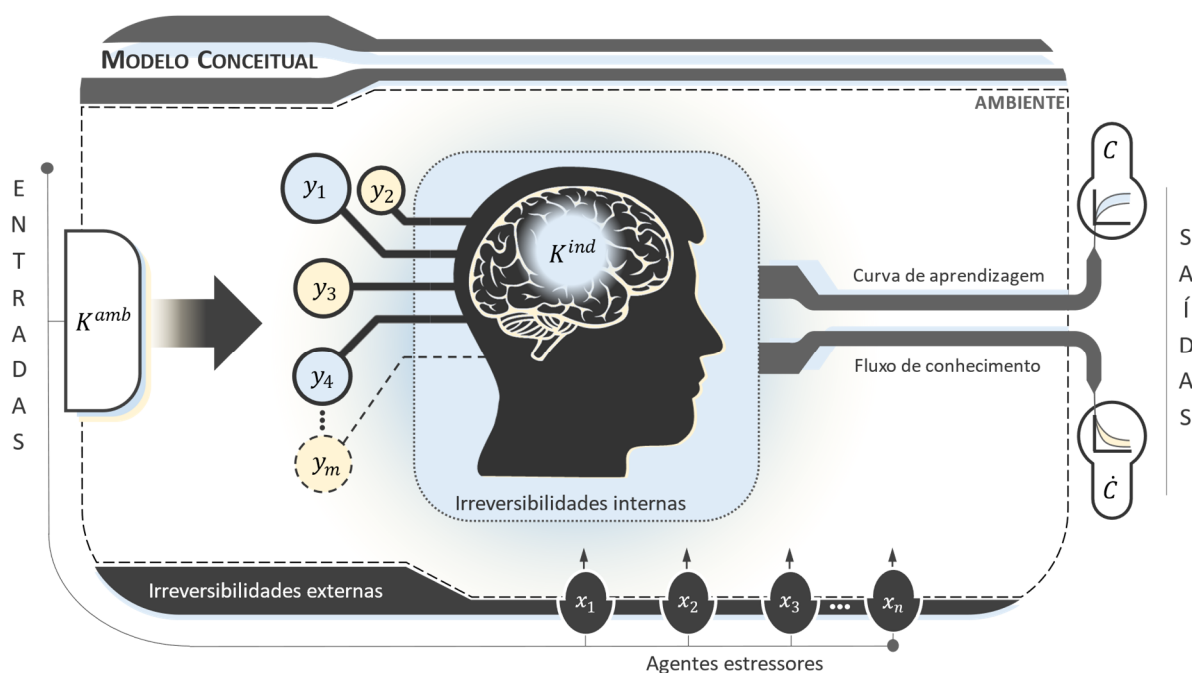
O modelo proposto pode ser analisado de forma acoplada ou de forma desacoplada, isolando os efeitos causados pelo ambiente e os efeitos decorrentes do indivíduo. Partindo desta premissa, a proposta consiste em avaliar os efeitos combinados dos agentes estressores presentes no ambiente que causam as irreversibilidades externas (*e. g.*, temperatura, ruído, iluminação e CO₂) representados pelas entradas x_1^{trl} , x_2^{dc} , αx_3^{exp} , incidindo diretamente sobre a eficiência de aprendizagem do indivíduo. Analisando o efeito do ambiente de forma desacoplada através das variáveis selecionadas, x_1^{trl} remete ao efeito combinado de temperatura, ruído e iluminação que foi obtido experimentalmente. A segunda constante x_2^{dc} representa o efeito relativo à concentração de dióxido de carbono na sala, afetando a eficiência de aprendizagem. O terceiro fator, αx_3^{exp} , remete à avaliação de conhecimentos explícitos e recursos tecnológicos distribuídos nos ambientes da organização¹¹. Desta forma, define-se a dimensão dos agentes presentes no ambiente que se deseja analisar neste trabalho. Além disso, o modelo também oferece ao usuário uma opção de aumentar a dimensão de análise dos agentes presentes no ambiente, logo, a dimensão de análise pode ser ampliada, mediante a inclusão de novos coeficientes x_i , até o *n*-ésimo termo, x_n , conforme a necessidade.

A partir da definição da dimensão de estudo relacionada ao ambiente, é possível detalhar os fatores que podem influenciar a eficiência de aprendizagem do indivíduo para realização de determinada atividade. Tais fatores podem ser considerados intrínsecos a cada indivíduo, em particular, sendo representados de forma global no modelo pela constante

¹¹ Conhecimentos explícitos distribuídos no ambiente podem ser livros, artigos e revistas, por exemplo. Já os recursos tecnológicos podem ser computadores, projetores e /ou qualquer outro recurso tecnológico que auxilie no desenvolvimento da atividade de aprendizagem e inovação.

K^{ind} (Figura 40), de modo que seu desmembramento acontece através de fatores individuais, denominados y_i . Neste estudo, para avaliar K^{ind} adotou-se o manual de avaliação de desempenho (Apêndice - D) que contempla dezoito fatores responsáveis por delimitar a dimensão de análise do indivíduo. Entretanto, o modelo permite que outra organização use seus próprios fatores, desde que estes atendam à escala proposta.

Figura 40 – Modelo conceitual.



Fonte: Do autor.

Finalmente, todas essas análises serão realizadas concomitantemente através da curva de aprendizagem e fluxo do conhecimento, representados respectivamente pelas saídas C e \dot{C} .

4.3 DEMOSTRAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

A concepção do modelo teórico descrito anteriormente facilitará a compreensão e elaboração do modelo matemático proposto neste trabalho, que tem por objetivo avaliar o efeito combinado dos agentes estressores através do fluxo de conhecimento e eficiência de aprendizagem do indivíduo.

O modelo de fluxo de conhecimento proposto por Huang (2007) foi escolhido como base epistêmica para a formulação do modelo matemático. A escolha desse modelo se

fundamenta, principalmente, na analogia física com a lei dos potenciais (*e.g.*, lei de Fourier e lei de Fick). Além disso, fatores fundamentais do fluxo de conhecimento, relação interpessoal e qualidade do ambiente são considerados pela modelagem, conservando a simplicidade dos modelos físicos. Entretanto, o parâmetro relacionado ao ambiente nesse modelo diz respeito apenas à distância física entre emissor e receptor, abrindo margem para o desenvolvimento de uma modelagem capaz de representar outros efeitos provenientes do ambiente de forma mais realista.

Partindo da equação que rege o modelo de Huang para o fluxo de conhecimento (F_{ij}), descrita na subseção 2.2.1 (Eq. 2.5), são propostas algumas reinterpretções dos termos, adequando-os aos objetivos delineados para o trabalho, conforme segue:

$$F_{ij} = \frac{M_j W_i}{D_{ij}} (K_i - K_j) \quad (4.1)$$

Dessa forma, o termo F_{ij} pode ser entendido como a variação do conhecimento do indivíduo no tempo ($F_{ij} = \dot{C} = \partial C / \partial t$), onde C é o conhecimento do receptor e t é o tempo decorrido. O produto $M_j W_i$, por sua vez, diz respeito as relações entre os indivíduos e, portanto, é função dos próprios, sendo regido por irreversibilidades internas, sendo representado por $1/K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$ onde $K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$ é a impedância ao fluxo de conhecimento levando em conta fatores do(s) indivíduo(s) envolvido(s) na atividade. Na modelagem proposta, considera-se que o fluxo de conhecimento pode ocorrer tanto entre pessoas, como proposto por Huang (2007), ou, conforme Zhuge (2002), entre meios tecnológicos (*e.g.*, livros, computadores e aparatos experimentais) e pessoas, o que caracteriza o nó do conhecimento pertinente, introduzido na seção capítulo 2. Nesse último caso, a impedância ao fluxo de conhecimento de origem interna dos indivíduos, $K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$, é apenas função do receptor, uma vez que ele é o único indivíduo envolvido na atividade. Por fim, o valor mínimo da impedância ($K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$) é adotado como 1 (caso ideal), e o seu aumento representa uma dificuldade intrapessoal para o fluxo de conhecimento, desconsiderando qualquer efeito do ambiente externo. O termo D_{ij} é interpretado como sendo consequência de irreversibilidades externas, sendo assim, no modelo proposto ele será representado como $1/K^{amb}$ onde K^{amb} mede a qualidade do ambiente, podendo variar de 0 a 1, com o último representando um ambiente ideal. O valor de K_i , tratado por Huang como o conhecimento do

emissor, é tomado como sendo o conhecimento máximo a ser adquirido pelo receptor (C_{max}), enquanto K_j representa o conhecimento instantâneo do indivíduo (receptor) em um determinado instante, denotado por C , onde $C = C(t)$. Ao aplicar as modificações propostas, o fluxo de conhecimento é representado pela seguinte expressão:

$$\dot{C} = \frac{dC}{dt} = \frac{K^{amb}}{K_{1 \rightarrow 2}^{ind}} (C_{max} - C) \quad (4.2)$$

De posse de uma expressão para a variação do conhecimento do indivíduo em função do tempo, busca-se agora determinar uma relação entre o conhecimento do indivíduo e o tempo decorrido, e como as variáveis que representam as irreversibilidades do meio alteram o processo de aprendizado. Para tanto, o processo de integração da equação 4.3 é realizado. Como passo intermediário, os efeitos das irreversibilidades externas e internas são agrupados, sendo representados através do termo K_s , onde $K_s = K^{amb}/K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$. Assim, efetuando essa substituição e definindo os limites de integração, chega-se a seguinte expressão:

$$\int_{C_i}^C \frac{dC}{C_{max} - C} = \int_0^t K_s dt \quad (4.3)$$

onde C_i é o conhecimento do receptor no tempo $t = 0$ e C é o conhecimento no instante de tempo t . Para fins práticos, K_s é considerado constante com relação ao tempo, ainda que este dependa da qualidade do ambiente e da dificuldade de aprendizagem intrapessoal envolvida no processo, que podem variar com o tempo. Entretanto, as variações temporais do termo de impedância ($K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$) podem ser consideradas desprezíveis na escala de tempo analisada. Quanto ao termo K_{amb} , este pode ser considerado constante para um ambiente e intervalo de tempo onde não existam variações consideráveis nos agentes estressores, sendo representado, assim, pelo valor médio aferido ao longo do período de amostragem. Nesse sentido, com o intuito de avaliar esse feito, o Apêndice A ilustra o procedimento de integração disposto na equação 4.3 levando em consideração as variações temporais do termo K_s , através do método de integração de Euler, implementado na plataforma Simulink®. Vale salientar que efeitos transientes do fluxo

de conhecimento foram demonstrados por Bulnes (2006), mas sem levar em consideração o efeito dos agentes estressores presentes no ambiente.

Para um entendimento amplo dos efeitos transientes, a curva de aprendizagem pode ser entendida como uma função tanto do tempo, das irreversibilidades internas do indivíduo e também do ambiente em que ele está exposto, levando em consideração os agentes estressores presentes. Assim, pode-se definir que $C = C(t, K_s)$. Além disso, o efeito das irreversibilidades internas (intrapessoal) e externas (ambiente) é dado por $K_s = K_s(x_1^{trl}, x_2^{dc}, \alpha, x_3^{exp}, K_{1 \rightarrow 2}^{ind}) = x_1^{trl} x_2^{dc} (1 - \alpha) x_3^{exp} / K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$. Por fim, o efeito da temperatura, ruído e luminosidade é modelado através de $x_1^{trl} = x_1^{trl}(T, R, L)$, com as variáveis independentes medidas experimentalmente e dependentes do tempo. Os outros termos de entrada da função de K_s são também medidos em função do tempo.

Determinadas as relações funcionais pertinentes, pode-se realizar a expansão da derivada total da curva de conhecimento em relação ao tempo (*i. e.*, fluxo de conhecimento) e verificar sua dependência com relação as variáveis efetivamente medidas. Assim:

$$\dot{C}(t, K_s) = \frac{dC}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial K_s} \frac{dK_s}{dt} \quad (4.4)$$

onde a derivada de K_s com relação ao tempo é dada por:

$$\begin{aligned} \frac{dK_s}{dt} = & \frac{\partial K_s}{\partial x_1^{trl}} \frac{dx_1^{trl}}{dt} + \frac{\partial K_s}{\partial x_2^{dc}} \frac{dx_2^{dc}}{dt} + \frac{\partial K_s}{\partial x_3^{exp}} \frac{dx_3^{exp}}{dt} + \frac{\partial K_s}{\partial \alpha} \frac{d\alpha}{dt} \\ & + \frac{\partial K_s}{\partial K_{1 \rightarrow 2}^{ind}} \frac{dK_{1 \rightarrow 2}^{ind}}{dt} \end{aligned} \quad (4.5)$$

com a derivada de x_1^{trl} em respeito ao tempo expressa por:

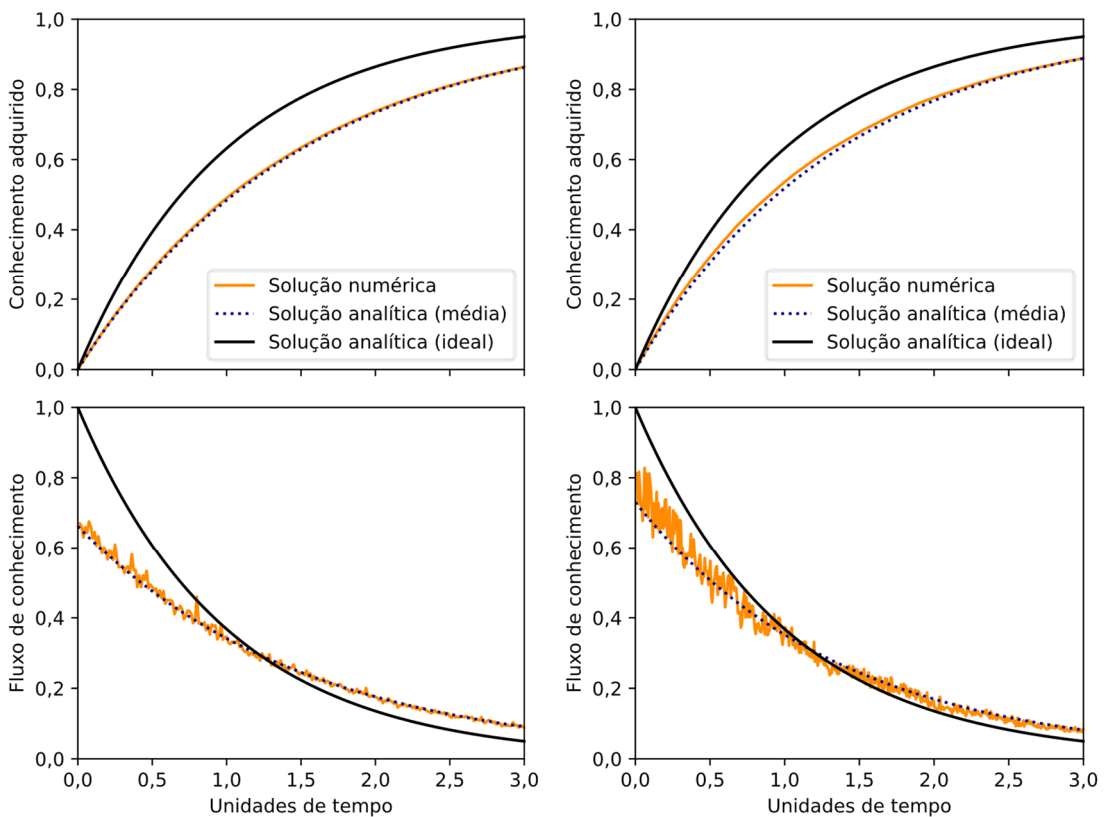
$$\frac{dx_1^{trl}}{dt} = \frac{\partial x_1^{trl}}{\partial T} \frac{dT}{dt} + \frac{\partial x_1^{trl}}{\partial R} \frac{dR}{dt} + \frac{\partial x_1^{trl}}{\partial L} \frac{dL}{dt} \quad (4.6)$$

Assim, o fluxo de conhecimento pode ser expresso através das derivadas parciais de seus parâmetros de entrada associadas as derivadas totais de seus parâmetros primitivos:

$$\begin{aligned} \dot{C} = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial K_s} & \left[\frac{\partial K_s}{\partial x_1^{trl}} \left(\frac{\partial x_1^{trl}}{\partial T} \frac{dT}{dt} + \frac{\partial x_1^{trl}}{\partial R} \frac{dR}{dt} + \frac{\partial x_1^{trl}}{\partial L} \frac{dL}{dt} \right) + \frac{\partial K_s}{\partial x_2^{dc}} \frac{dx_2^{dc}}{dt} \right. \\ & \left. + \frac{\partial K_s}{\partial x_3^{exp}} \frac{dx_3^{exp}}{dt} + \frac{\partial K_s}{\partial \alpha} \frac{d\alpha}{dt} + \frac{\partial K_s}{\partial K_{1 \rightarrow 2}^{ind}} \frac{dK_{1 \rightarrow 2}^{ind}}{dt} \right] \end{aligned} \quad (4.7)$$

É possível perceber então que, uma vez desprezadas as variações dos parâmetros envolvidos: temperatura, ruído, luminosidade, nível de CO₂, conhecimento explícito disponível, peso do conhecimento explícito e relação interpessoal, o fluxo de conhecimento passa a ser função apenas do tempo, apesar desses parâmetros não serem constantes. Dessa maneira, foi realizada uma comparação do modelo analítico considerando K_s constante (média no tempo), com um modelo numérico, considerando as variações dos parâmetros mensuradas no tempo de dois ambientes da unidade avaliada. Essa comparação pode ser visualizada na Figura 41, que conta também com uma curva para a solução analítica considerando um sistema ideal ($K_s = 1$).

Figura 41 – Comparação entre as soluções matemáticas.



Fonte: Do autor.

É observado então que, para o fluxo de conhecimento, as flutuações momentâneas são percebidas pelo modelo transiente, porém o valor médio ainda se aproxima muito da solução analítica. Para a curva de conhecimento, por se tratar de uma comparação das áreas sob as curvas de fluxo de conhecimento, essa diferença é ainda mais reduzida, o que endossa o fato de que a aproximação de K_s constante representa de maneira satisfatória o fenômeno. Ainda a partir da Figura 41 é possível perceber que as análises gráficas apontam desvios mínimos entre as soluções, sobretudo para a curva de aprendizagem, reforçando a potencialidade da solução analítica para ambientes com baixos níveis de variância nos agentes estressores.

Todavia, assim, ao desconsiderar-se os efeitos transientes envolvidos no coeficiente K_s , e assim resolvendo-se a integral da equação 4.3 de forma analítica, tem-se a seguinte expressão:

$$\ln \left(\frac{C_i - C_{max}}{C - C_{max}} \right) = K_s t \quad (4.8)$$

Explicitando a equação para C , chega-se à expressão final:

$$C = C_{max} - (C_{max} - C_i) \exp(-K_s t) \quad (4.9)$$

Onde:

C : conhecimento do receptor

C_i : conhecimento inicial em uma determinada atividade

C_{max} : conhecimento máximo que pode ser atingido em uma atividade

K_s : efeito das irreversibilidades internas (intrapessoal) e externas (ambiente)

t : tempo

A Equação 4.9 possui certa similaridade com o modelo apresentado por Knecht (1974), discutido no capítulo 2 (Equação 2.13), uma vez que ambos representam a curva de conhecimento através de uma curva exponencial. Dessa maneira, seguindo a abordagem utilizada para a obtenção de uma expressão para fluxo de conhecimento, onde uma analogia entre o modelo proposto neste trabalho e o modelo de Huang (2007) foi apresentada, é possível

também realizar uma interpretação dos parâmetros obtidos na curva de aprendizagem, derivada a partir do fluxo de conhecimento. Assim, retomando o modelo exponencial-3 (Knecht, 1974), de forma direta, C corresponde a y , enquanto t é representado pelo termo x . O termo C_{max} , por sua vez, pode ser entendido como uma equivalência do termo k . Nesse sentido, é importante ressaltar que o modelo exponencial-3 considera o conhecimento inicial do receptor no argumento da exponencial (*i.e.*, um deslocamento no eixo das abscissas), representado pelo termo p , enquanto o modelo proposto para a curva de aprendizagem considera o conhecimento inicial através do termo C_i , levando a um deslocamento na direção do eixo das ordenadas. Entretanto, é importante perceber que as duas abordagens são equivalentes, de modo que cada p possui um C_i correspondente. Em outras palavras, o modelo proposto leva em conta uma experiência prévia como a própria quantidade de conhecimento que o indivíduo possui *a priori*, enquanto que a expressão exponencial-3 apresenta esse efeito como um tempo já dispendido na tarefa. Ainda, o valor de K_s é dado por r , mesmo com o segundo considerando apenas os efeitos das irreversibilidades internas, o que implica no entendimento que r representa o próprio K_s para um ambiente ideal, desprezando o efeito dos agentes estressores. Por fim, as etapas adotadas na concepção dos modelos foram:

- i.* Os parâmetros do modelo de Huang (2007) (Eq. 4.1) foram reinterpretados, resultando na proposição de uma nova expressão para o fluxo de conhecimento (Eq. 4.2);
- ii.* A partir da integração matemática da expressão do fluxo de conhecimento, um modelo para a curva de aprendizagem foi obtido (Eq. 4.5);
- iii.* O modelo proposto (Eq. 4.5) apresentou características análogas às curvas de aprendizagem presentes na literatura, como evidenciado na sua comparação com o modelo exponencial-3 (Eq. 2.13), o que confere solidez à metodologia adotada.

Posto o modelo simplificado, é possível agora desacoplar novamente o sistema, separando K_s em duas parcelas, onde K^{amb} representa a parcela correspondente ao ambiente, e $K_{1 \rightarrow 2}^{ind}$ a parcela intrapessoal, conforme ilustra a Equação 4.10.

$$K_s = \frac{K^{amb}}{K_{1 \rightarrow 2}^{ind}} \quad (4.10)$$

Rearranjando a Equação 4.9, é possível obter uma visão desacoplada do problema em questão, conforme segue:

$$C = C_{max} - (C_{max} - C_i) \exp\left(-\left(\frac{K^{amb}}{K_{1 \rightarrow 2}^{ind}}\right)t\right) \quad (4.11)$$

Agora, em posse de um novo arranjo, é possível apurar de forma isolada a parcela de K^{amb} , representada pela equação 4.12.

$$K^{amb} = x_1^{trl} x_2^{dc} \left((1 - \alpha) + \alpha x_3^{exp} \right) \quad (4.12)$$

Onde:

x_1^{trl} : efeito combinado de temperatura, ruído e iluminância¹²

x_2^{dc} : efeito da concentração de CO₂ no ambiente

αx_3^{exp} : coeficiente que avalia o conhecimento explícito e recursos tecnológicos dispostos no ambiente

α : coeficiente que pondera o peso do termo x_3^{exp} para cada ambiente ou organização

Partindo ao encontro das duas primeiras constantes apresentadas, é proposta uma ponderação para o terceiro fator apresentado através de um peso, representado por α . O fator α proporciona para o usuário a habilidade de avaliar o quanto o conhecimento explícito e recursos tecnológicos são importantes para um dado ambiente ou organização, levando em consideração a disposição organizacional pertinente.

Uma vez definido o efeito do ambiente sobre o indivíduo, definido como irreversibilidades externas, pode-se então definir a parcela inerente ao mesmo, tratando de suas irreversibilidades internas, ao ponto que estas são representadas por y_i , que correspondem aos

¹² Os termos x_1^{trl} e x_2^{dc} foram obtidos a partir dos dados experimentais de acordo com a matriz DoE apresentada na Figura 39.

fatores internos que influenciam a eficiência de aprendizagem do indivíduo. A Equação 4.13 ilustra a parcela do indivíduo representada por somatório de n fatores encontrados no manual.

$$K_{1 \rightarrow 2}^{ind} = \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.13)$$

Onde:

y_i : fatores que influenciam no desempenho da aprendizagem do indivíduo.

Como dito anteriormente, neste trabalho o manual de avaliação de desempenho da organização foi adotado como forma de avaliar os efeitos do indivíduo, uma vez que essa é uma prática comum na unidade avaliada. Assim, a partir das expressões explícitas para quantificar as irreversibilidades internas e externas, finalmente, foi possível explicitar o modelo analítico de forma detalhada para o conhecimento no domínio do tempo, conforme ilustra a Equação 4.14.

$$C = C_{max} - (C_{max} - C_i) \exp \left(- \left(\frac{x_1^{trl} x_2^{dc} \left((1 - \alpha) + \alpha x_3^{exp} \right)}{\sum_{i=1}^n y_i} \right) t \right) \quad (4.14)$$

Mais adiante, o fluxo de conhecimento, outrora definido como função do próprio conhecimento, agora pode ser expresso como função do tempo de forma explícita ($\dot{C} = \dot{C}(t)$). Assim, ao derivar a Equação 4.9, é possível obter uma expressão explícita para fluxo de conhecimento, conforme segue:

$$\dot{C} = \frac{\partial C}{\partial t} = K_s (C_{max} - C_i) \exp(-K_s t) \quad (4.15)$$

À medida em que o conhecimento do receptor se aproxima do conhecimento máximo, com o passar do tempo, um decaimento assintótico é percebido, uma vez que o fluxo máximo ocorre nos instantes iniciais do processo de transferência, o que é endossado pela teoria dos potenciais.

É possível afirmar que o principal produto da organização analisada (Embrapii) é o conhecimento, onde as perdas relacionadas ao seu fluxo têm relação direta com os agentes

estressores presentes no ambiente. A partir da abordagem apresentada, essas perdas podem ser traduzidas em desperdício de tempo na execução de tarefas relacionadas aos projetos de inovação. Logo, ao ponto que as perdas de fluxo de conhecimento são identificadas e quantificadas, torna-se possível propor melhorias, principalmente à nível operacional, demonstrando que essa ação pode ser convertida em lucro direto para organização.

Posto o modelo com a opção de analisar o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, o próximo passo consiste em definir os principais indicadores de desempenho para organização, bem como as respectivas métricas. Para tanto, o processo de transferência de conhecimento ideal é adotado como base, onde os efeitos do ambiente e dos indivíduos envolvidos são considerados nulos. Posto isto, os indicadores escolhidos foram: eficiência de aprendizagem; fluxo de conhecimento perdido; tempo despendido e perdido em uma determinada atividade.

Com o intuito de definir os indicadores sob uma base comum, uma condição padrão para a equação 4.9 precisou ser adotada. Para esse caso, em particular, C_i e C_{max} foram adotados como zero e 1, respectivamente. Dessa maneira, é possível avaliar a influência de K_s sobre a curva de aprendizagem de forma isolada. Nesse caso, a equação 4.9 resulta em:

$$C = 1 - \exp(-K_s t) \quad (4.16)$$

Para esse caso, percebe-se que a equação 4.17 descreve o comportamento de um sistema de primeira ordem, representada por:

$$y(t) = 1 - \exp(-t/\tau) \quad (4.17)$$

Nesse tipo de sistema, τ possui uma interpretação de cunho matemático, recebendo a alcunha de “constante de tempo”, ao ponto que, quando t assume um valor igual a τ , a variável dependente ($y(t)$) atinge 63,2% do valor máximo admitido. Comparando as equações 4.16 e 4.17, percebe-se, para o caso particular analisado, que a constante de tempo é dada por:

$$\tau = \frac{1}{K_s} \quad (4.18)$$

Essa interpretação permite uma visualização do efeito do ambiente sobre o fluxo de conhecimento através do tempo despendido em uma determinada tarefa. Em outras palavras, o tempo despendido em uma atividade em um ambiente real sempre será maior que em um ambiente ideal. Com o intuito de desenvolver uma métrica consistente, é importante tomar como referência uma condição ideal.

A Equação 4.19 estabelece a relação entre τ e K_s para os modelos ideal e real lado a lado.

$$\frac{1}{K_s^{ideal}} = \tau_{ideal} \quad | \quad \frac{1}{K_s^{real}} = \tau_{real} \quad (4.19)$$

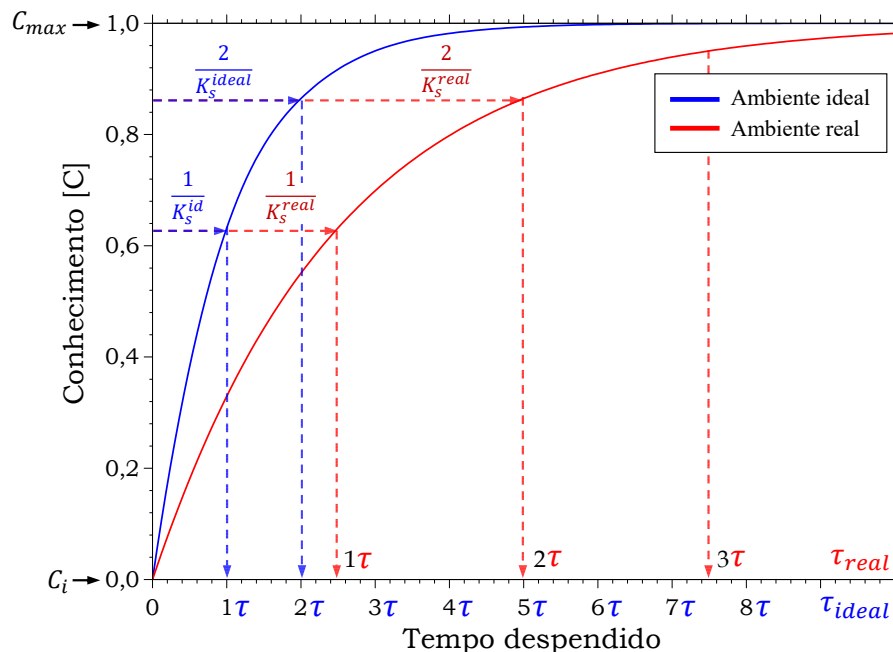
Onde:

K_s^{ideal} : efeito combinado das irreversibilidades do sistema ideal ($K_s^{ideal} = 1$)

K_s^{real} : efeito combinado das irreversibilidades do sistema real ($0 \leq K_s^{real} < 1$)

A Figura 42 ilustra o comportamento do sistema ideal (curva em azul - $K_s = 1$) e um ambiente real hipotético (curva em vermelho - $K_s = 0,4$) de forma comparativa através do modelo analítico desenvolvido.

Figura 42 – Comparação da curva de aprendizagem em um ambiente ideal e não-ideal (real).



Fonte: Do autor.

De acordo com o comportamento observado na Figura 42, a título de exemplo, considerando um período de 2τ para ambos os ambientes, ou seja, uma retenção de conhecimento de 86,4%, é possível observar que, no ambiente real, o tempo para adquirir a mesma quantidade de conhecimento é maior, o que ocorre devido ao efeito das irreversibilidades. Ainda, o efeito percebido através da diferença entre os tempos pode ser estendido à comparação entre os fluxos de conhecimentos em cada ambiente, permitindo a definição dos fluxos de conhecimento ideal e real. Introduzindo esse conceito na Equação 4.2, a Equação 4.20 apresenta uma expressão para o fluxo de conhecimento ideal.

$$\dot{C}_{ideal} = K_s^{ideal}(C_{max} - C) \quad (4.20)$$

De forma análoga, é possível obter o fluxo de conhecimento real através da Equação 4.21.

$$\dot{C}_{real} = K_s^{real}(C_{max} - C) \quad (4.21)$$

De posse de ambos os fluxos, ideal e real, é possível calcular a perda no fluxo de conhecimento, representada pelo indicador φ_s , que indica a perda no fluxo de conhecimento (ou de tempo), conforme segue:

$$\varphi_s = \frac{\dot{C}_{ideal} - \dot{C}_{real}}{\dot{C}_{ideal}} = 1 - \frac{\dot{C}_{real}}{\dot{C}_{ideal}} = 1 - \frac{K_s^{real}}{K_s^{ideal}} \quad (4.22)$$

Mais adiante, buscando uma forma de representar a influência da qualidade do ambiente sobre a aprendizagem, bem como as perdas associadas às irreversibilidades internas, a eficiência de aprendizagem é introduzida a partir da seguinte expressão:

$$\eta_a = \frac{\tau_{ideal}}{\tau_{real}} \quad (4.23)$$

Onde:

τ_{ideal} : constante de tempo ideal

τ_{real} : constante de tempo real

A eficiência de aprendizagem pode ser entendida como o percentual de tempo efetivamente utilizado para aprendizado, ao ponto que valores abaixo da unidade indicam que uma parcela do tempo foi adicionada no processo devido à efeitos combinados de irreversibilidades. A título de validação, como τ tem dimensão de tempo, experimentos podem ser conduzidos em ambientes distintos para determinar uma eficiência de aprendizagem.

Ambos os indicadores representam o efeito combinado das irreversibilidades de forma quantitativa, mas com interpretações distintas. É possível perceber que φ_s e η_a são complementares, o primeiro representando o tempo perdido e o segundo a parcela de tempo efetivamente utilizada no processo de aprendizagem.

É importante findar que, para qualquer τ ($i\tau \mid i \in \mathbb{N}$), os indicadores podem ser considerados constantes, mudando apenas a quantidade de conhecimento adquirido nos dois sistemas, ideal e real.

Com a definição dos indicadores supracitados, segue-se para a seção de resultados, contando com a análise de sensibilidade dos agentes estressores e uma proposição de métricas adequadas para a classificação dos ambientes.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para estruturar melhor a análise, este capítulo de resultados foi dividido em cinco partes. A primeira trata do efeito combinado dos agentes estressores do ambiente, através de uma análise de superfície de resposta, que, diferente da representação cartesiana tradicional, permite avaliar a resposta de duas variáveis em função de uma terceira. Na segunda parte, as potencialidades do modelo são exploradas. A terceira parte compreende a classificação dos ambientes avaliados a partir do método (*Learning Efficiency Workspace*) proposto nesta tese. Na quarta parte, são analisadas as potencialidades do modelo computacional através de um ambiente de simulação desenvolvido neste trabalho. Na quinta parte, é apresentada a solução integrada para monitorar e controlar o ambiente a fim de diminuir as perdas de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem causadas por efeitos do ambiente, denominados por irreversibilidades externas.

5.1 ANÁLISE MSR DOS AGENTES ESTRESSORES

A metodologia MSR (Metodologia de superfície de resposta) vem sendo muito utilizada para na análise combinadas das variáveis de interesse de um dado processo (NOVAES, 2017). Normalmente, os processos de otimização são realizados com base no monitoramento de um fator e observação de sua influência sobre uma resposta experimental, de forma individual. Neste tipo de otimização, chamado de otimização univariada, enquanto o nível de um fator é alterado, os níveis dos demais são mantidos constantes. Como decorrência, esta técnica não possibilita a avaliação dos efeitos de interação entre as variáveis (NOVAES, 2017). Dessa forma, o uso da MSR se justifica na quantificação e interpretação das relações interdependentes verificadas entre respostas e efeitos dos fatores.

Ao justapor um procedimento multivariado de otimização como a MSR, dois tipos de variáveis são abordados: as variáveis independentes (*e. g.*, temperatura) e as variáveis dependentes (*e. g.*, índice de qualidade do ambiente). Uma vez definidas as variáveis de interesse, é possível avaliar cenários distintos através da leitura das variáveis de resposta com a ação combinada das variáveis independentes.

5.1.1 Análise MSR para temperatura constante

Conforme elucidado anteriormente, as variáveis independentes abordadas no presente trabalho foram: temperatura, ruído e iluminância. Estas variáveis foram adimensionalizadas de modo que valores nulos correspondem a níveis considerados adequados (*i. e.*, ideais), de forma que sua contribuição para a degradação do ambiente em termos de redução no desempenho de um colaborador é nula. Analogamente, o valor máximo atingido pelas variáveis independentes foi determinado com base nos limites permitidos e verificados através das diretivas das normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego: NR-15 e NR-17, bem como as normas técnicas da ABNT: NBR 10152 e NBR ISO/CIE 8995-1.

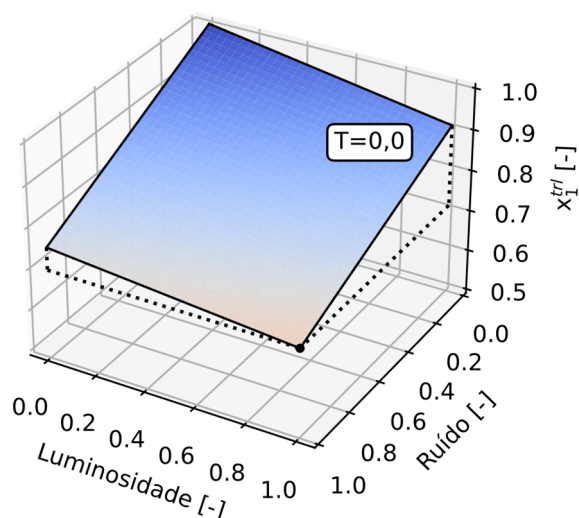
O índice de qualidade do ambiente (x_1^{trl} - variável dependente abordada nesta análise) é responsável por sintetizar o efeito combinado dos parâmetros de entrada sobre a curva de aprendizagem e fluxo de conhecimento em um único indicador. Para este parâmetro, o valor máximo indica um ambiente ideal. Em contrapartida, a redução desse índice pode ser considerada proporcional ao aumento de irreversibilidades do ambiente, resultante da variação dos parâmetros independentes.

Como três variáveis independentes estão sendo consideradas na análise, a representação gráfica das variações combinadas através de uma superfície de resposta só é possível quando o nível de uma das variáveis é considerado constante. A Figura 43 apresenta a representação gráfica de uma superfície considerando a variável temperatura com valor nulo e constante (*i.e.*, a temperatura não exerce influência na qualidade do ambiente), ao ponto que os resultados podem ser percebidos através da geometria da superfície e da cor, facilitando a interpretação. Nela, pode-se observar o ponto considerado como ambiente ideal, no qual todas as variáveis independentes têm valor igual a zero. Desse modo, tem-se um ambiente considerado inerte e com valor máximo de x_1^{trl} . No gráfico, é possível observar os efeitos tanto do ruído como da luminosidade, para o parâmetro de temperatura constante e igual a zero. A superfície aponta que ambos os parâmetros são relevantes na qualidade do ambiente, com maior expressividade para o ruído, que depreda o ambiente em $\sim 0,6$ enquanto a luminosidade leva a qualidade do ambiente de 1 para 0,7, em média¹³. Ainda que para conseguir um ambiente de

¹³ As variações percentuais podem ser obtidas multiplicando-se os valores por 100.

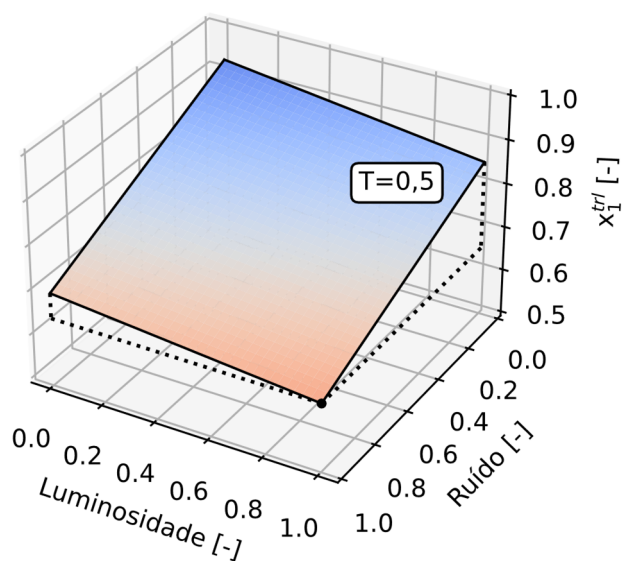
alto desempenho seja necessário atender todas as características, a análise indica que baixas variações nas variáveis independentes culminam em quedas consideráveis na qualidade do ambiente. O menor nível de x_1^{trl} considerando efeito nulo para a temperatura ficou em torno de 0,7, valor muito próximo para o caso em que o efeito da luminosidade é igual a zero, o que indica a sua pequena influência quando o ambiente já está saturado de ruído e em uma temperatura adequada.

Figura 43 – Análise de x_1^{trl} para um nível de temperatura constante e ideal.



Fonte: Do autor.

Figura 44 – Análise de x_1^{trl} para um nível de temperatura constante e 0,5.

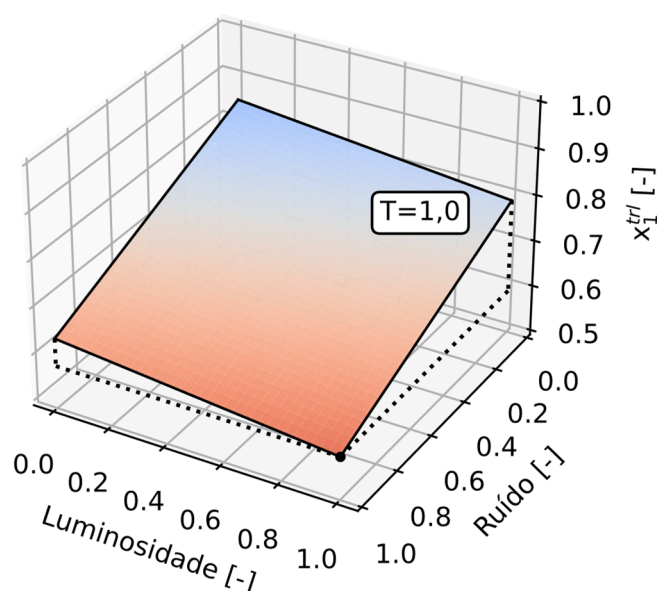


Fonte: Do autor.

A Figura 44 corresponde a uma superfície com influência da temperatura em um valor intermediário ($T = 0,5$) e constante. Percebe-se que o valor máximo considerando ruído e luminosidade ideais agora se aproxima de 0,9. É possível perceber que o efeito do ruído e luminosidade foram levemente reduzidos e agora levam até valores de 0,65 e 0,85 respectivamente, quando analisados individualmente. O ambiente mais crítico para essa temperatura obteve um valor de qualidade de ambiente de $\sim 0,6$, tendo uma redução de 0,1 quando comparado ao caso anterior.

O gráfico apresentado na Figura 45 analisa o caso crítico, onde a temperatura tem valor constante e igual ao máximo permitido por norma (MTP, 2022). Nesse caso, do ponto de vista da adimensionalização considerada no modelo, a temperatura foi avaliada para o valor normalizado igual a 1, ao ponto que, com os outros parâmetros independentes mantidos em condições ideais, tem-se um x_1^{trl} próximo de 0,8. O gráfico ainda aponta que a luminosidade tem pouco efeito, independente da magnitude do ruído, o que indica uma saturação dos efeitos negativos no ambiente, isto é, com a temperatura em valores tão inadequados não houve piora percebida pelos colaboradores em relação a queda de luminosidade da sala. O ruído por sua vez, continuou tendo um papel fundamental, influenciando significativamente nos valores de qualidade do ambiente, mesmo com o conforto térmico prejudicado.

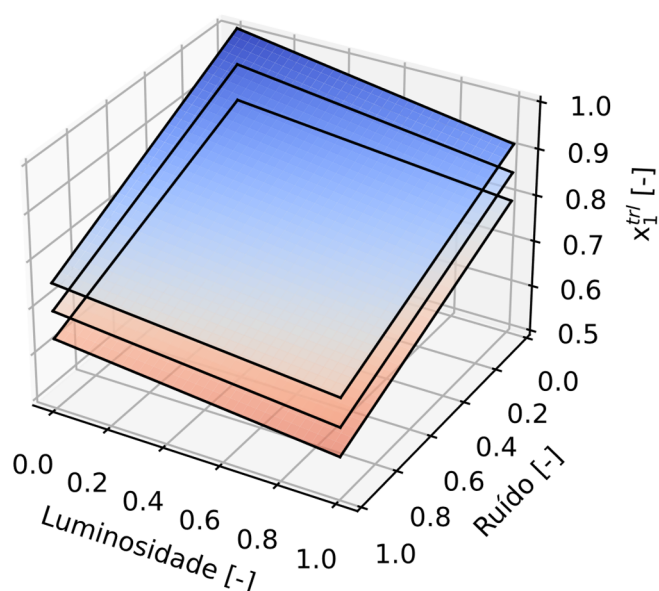
Figura 45 – Análise de x_1^{trl} para um nível de temperatura constante e crítico.



Fonte: Do autor.

A Figura 46 sintetiza as superfícies resultantes dos 3 níveis de temperatura constante analisados em um único gráfico. Nele, é possível perceber de forma mais clara que, próximo do ambiente ideal ($x_1^{trl} = 1$), a qualidade do ambiente é mais sensível aos parâmetros independentes. Assim, um ambiente ideal precisa que todas as condições sejam bem atendidas para que se tenha um máximo rendimento. De maneira contraposta, observa-se que, no caso da luminosidade, ocorre uma saturação da degradação do ambiente quando os níveis de ruído ou temperatura já estão elevados, mitigando o impacto da luminosidade. O ruído, apesar de ser fenomenologicamente semelhante, persiste com grande impacto independente das demais condições do ambiente.

Figura 46 – Análise de x_1^{trl} para diferentes níveis de temperatura.

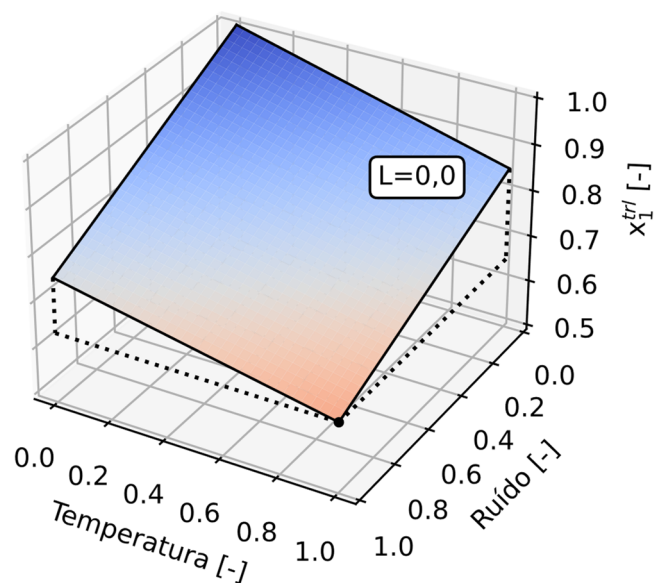


Fonte: Do autor.

5.1.2 Análise MSR para iluminância constante

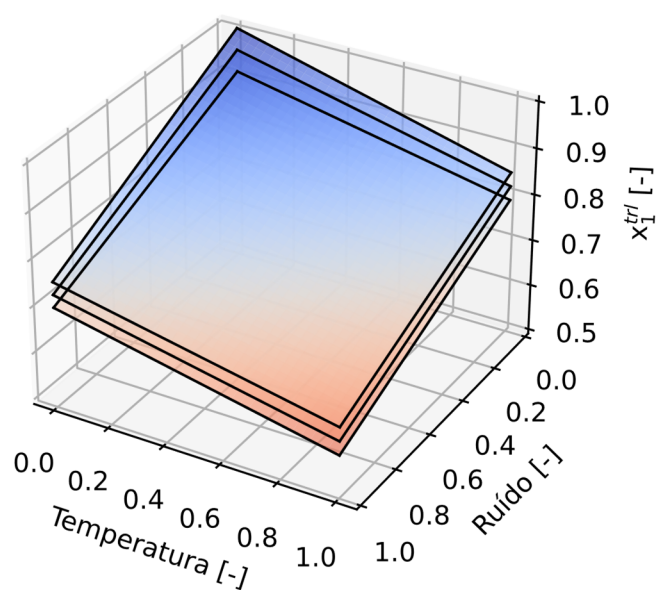
Analogamente, foi feito um estudo sobre o comportamento das superfícies com valores de luminosidade constante. No primeiro gráfico, visto na Figura 47, percebe-se que tanto o ruído quanto a temperatura têm grande efeito sobre a qualidade do ambiente, levando o índice de qualidade do ambiente da condição ideal até próximo de 0,6, com a condição mais crítica, considerando luminosidade ideal.

Figura 47 – Análise de x_1^{trl} para um nível ideal de iluminância.



Fonte: Do autor.

Figura 48 – Análise de x_1^{trl} para iluminância constante em três níveis.



Fonte: Do autor.

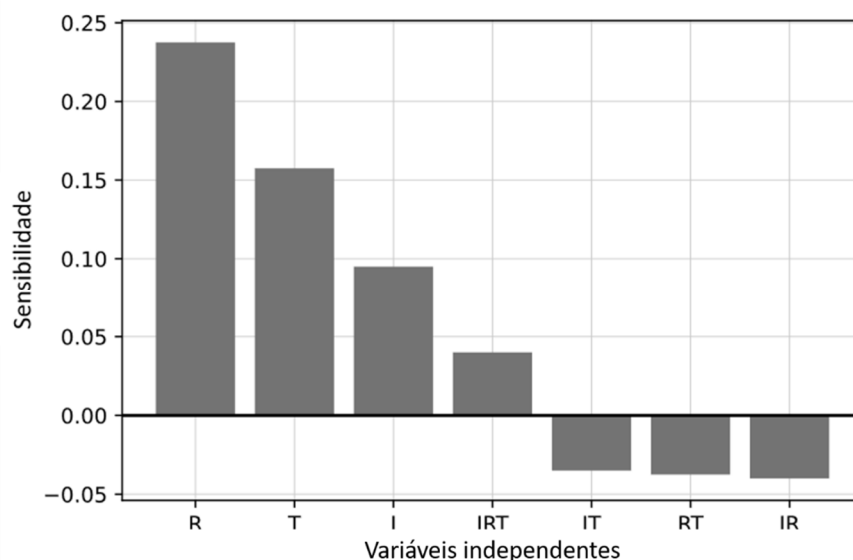
A Figura 48 apresenta as superfícies obtidas para luminosidade constante, considerando os valores de 0, 0,5 e 1 de maneira conjunta. Nela, nota-se a ocorrência de certa saturação dos efeitos de temperatura e ruído quando o ambiente está em baixa luminosidade.

Isso pode ser visto mais claramente na inclinação das curvas de temperatura, considerando ruído constante e igual a zero. Com o aumento do impacto da luminosidade (i.e., diminuição do valor de iluminância da sala), a inclinação da curva torna-se menos acentuada, indicando uma menor sensibilidade da qualidade da sala com respeito à variação de temperatura. O mesmo ocorre na variação de ruído considerando efeito nulo de temperatura, indicando novamente que os colaboradores se tornam mais sensíveis a desvios da norma quanto mais a sala aproxima-se de um ambiente ideal. Em contraponto, nota-se que, para valores críticos de ruído e temperatura ($r, T = 1$), tem-se uma variação de inclinação menos acentuada, com as retas praticamente paralelas. Assim, a variação da luminosidade continua depredando a qualidade do ambiente, mas não interferindo significativamente na sensibilidade da mesma com respeito às outras variáveis independentes. Isso pode ser explicado pelo fato de que a ação combinada dos efeitos conduz a uma percepção dos colaboradores de pior cenário possível, atribuindo uma degradação maior do ambiente, o que acaba por compensar os efeitos de saturação já observados.

5.1.3 Síntese dos efeitos individuais e combinados dos agentes estressores

A análise das superfícies avalia a dependência da variável resposta (i.e., índice de qualidade do ambiente) em relação às variáveis intrínsecas ao ambiente (independentes). Apesar desse tipo de representação fornecer uma noção intuitiva das relações de forma gráfica, uma análise de caráter mais quantitativo tende a ser mais precisa, deixando os efeitos individuais mais claros. Dessa maneira, na Figura 49 estão representados os coeficientes associados a cada uma das variáveis independentes obtidos através dos ensaios experimentais. No gráfico, a letra R corresponde ao nível de ruído, T à temperatura, e L a Luminosidade, enquanto que a aglutinação das letras está associada aos fatores combinados.

Figura 49 – Análise de sensibilidade dos coeficientes das variáveis independentes.



Fonte: Do autor.

Observando os resultados dos coeficientes, quanto maior o valor do associado, maior o efeito da variável sobre a qualidade do ambiente. Sendo assim, observa-se que, em ordem crescente, o fator que mais depreda a qualidade do ambiente é a luminosidade (ausência dela), com um valor de 0,10, temperatura, coeficiente de 0,16, e o mais impactante, o ruído, com um valor de 0,24. Assim, todos os valores têm um impacto apreciável e devem ser levados em consideração, ainda que a temperatura e o ruído (principalmente) sejam mais expressivos. Nota-se ainda que os parâmetros cruzados, TR , TL e RL , possuem um valor de coeficiente negativo. Isso não deve ser entendido de um modo que a união desses fatores levará a um ambiente com melhor qualidade. O que ocorre é que, com o aumento de dois fatores, se esperaria uma grande degradação da qualidade, que de fato ocorre, mas não pela simples superposição dos efeitos solitários, e sim pela a contribuição do efeito combinado. Por exemplo, caso tenha-se um ambiente com ruído 1 e outros fatores inertes, tem-se um x_1^{trl} de 0,76 ($1 - 0,24$), um ambiente com temperatura com valor unitário e restante dos parâmetros 0, teria o valor correspondente a 0,84 ($1 - 0,16$). A superposição dos efeitos para um ambiente com ruído e temperatura igual a 1 e luminosidade igual a 0 levaria a um ambiente com x_1^{trl} com valor de 0,6 ($1 - 0,24 - 0,16$), o que não é o observado pelos experimentos. Levando em conta o efeito combinado tem-se então um valor de 0,64 ($1 - 0,24 - 0,16 + 0,04$). Isso pode ser explicado pelo fato de o colaborador desenvolver certa resistência a pioras subsequentes uma vez que o ambiente já esteja

prejudicado, ou seja, há uma saturação da degradação do ambiente percebida. O fenômeno também pode ser interpretado como consequência da maior sensibilidade dos trabalhadores para ambientes próximos do inerte, uma vez que todos os fatores estejam satisfeitos, qualquer perturbação nos valores ótimos será mais claramente percebida. Esse efeito é notado em todas as combinações das variáveis independentes, corroborando com a análise realizada nos gráficos de superfície, que também indicou uma saturação dos efeitos percebidos. Para o coeficiente resultante do cruzamento de todos os fatores, tem-se um valor positivo (0,04), o que pode ser consequência de uma percepção de estar no ambiente mais insalubre, o que compensa os três valores de cruzamento duplo que estão presentes para o ambiente que possui as 3 variáveis independentes atuando sobre o meio.

5.1.4 Análises de variância do experimento

Além das análises de incerteza relacionadas ao sistema de medição, foi realizada uma análise de variância dos experimentos realizados neste estudo. Basicamente, a proposta consiste em apurar a significância dos testes realizados e a influência da amostragem nos resultados. Para tanto, a análise de variância (ANOVA) de fator duplo sem repetição foi adotada.

Para a realização da análise, foram levadas em consideração as oito condições de testes estabelecidas na fase de planejamento experimental (DoE). Inicialmente, em cada condição de teste estabelecida, foi avaliado preliminarmente o desempenho de cinco amostras. A avaliação levou em consideração a percepção dos participantes sobre a condição ambiente estabelecida no aparato experimental, encontrado na (seção 3.2.8), ao ponto que os valores atribuídos pelos participantes foram normalizados. A Tabela 5 apresenta os dados experimentais brutos, que contemplam os valores de contagem, soma, média e variância dos testes e das amostras, informações que serão utilizadas durante a análise de incerteza.

Tabela 5 – Incertezas de medição das variáveis.

Identificação	Contagem	Soma	Média	Variância
Teste 1	5,0	2,9	0,58	0,001
Teste 2	5,0	3,3	0,65	0,002
Teste 3	5,0	3,9	0,78	0,000
Teste 4	5,0	4,2	0,84	0,001
Teste 5	5,0	3,5	0,71	0,001
Teste 6	5,0	3,8	0,76	0,001
Teste 7	5,0	4,6	0,91	0,000
Teste 8	5,0	5,0	1,00	0,000
Amostra 1	8,0	6,4	0,80	0,017
Amostra 2	8,0	6,2	0,78	0,023
Amostra 3	8,0	6,1	0,77	0,017
Amostra 4	8,0	6,2	0,78	0,019
Amostra 5	8,0	6,1	0,77	0,023

Fonte: Do autor.

A Tabela 6 apresenta a análise estatística comparativa entre os testes realizados, que evidencia, através da comparação os fatores F e F Crítico, o efeito dos agentes estressores na eficiência de aprendizagem e fluxo de conhecimento. Além disso, o *valor - P* tendendo a um valor nulo indica que o nível de confiança poderia ser maior que 95 %.

Tabela 6 – ANOVA.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	<i>valor - P</i>	F crítico
Testes	0,674	7	0,0963	160	7,63E-21	2,4
Amostras	0,007	4	0,0018	3	0,035	2,7
Erro	0,017	28	0,0006			
Total	0,698	39				

SQ: Soma de quadrados; gl: grau de liberdade; MQ: Quadrados Médios.

Fonte: Do autor.

Com relação aos resultados amostrais, evidencia-se que, apesar dos colaboradores que fizeram parte da amostragem trabalharem na mesma organização e terem um nível de aprendizagem similar, a percepção das amostras sobre as condições do ambiente foram distintas, fato apurado a partir da comparação entre F com F crítico. Logo, este resultado comprova que a escolha aleatória das amostras não foi tendenciosa. Além disso, é proposta uma outra análise, sob a ótica do coeficiente de dispersão, definido pela equação 5.7.

$$C_v = \frac{\sqrt{MQ_{Amostras}}}{\bar{x}} \quad (5.1)$$

Onde,

C_v = Coeficiente de dispersão

$MQ_{amostras}$ = Variação dentro das amostras

\bar{x} = Grande média

O coeficiente de dispersão apresentou valores da ordem de 5 %. De acordo com ISOGUM (2008), valores de coeficiente de dispersão dentro do intervalo $0 < C_v \leq 15\%$ são interpretados estatisticamente como baixa dispersão. Os valores obtidos obedeceram a mesma tendência de variância, tanto para as amostras, quanto para os testes.

A Tabela 7 abaixo apresenta um resumo estatístico dos oitos testes realizados com as primeiras cinco amostras.

Tabela 7 – Incertezas de medição das variáveis.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8
Média	0,58	0,65	0,78	0,84	0,71	0,76	0,91	1,00
Erro padrão	0,017	0,018	0,009	0,012	0,012	0,012	0,010	0,000
Mediana	0,550	0,650	0,780	0,850	0,700	0,750	0,900	1,000
Desvio padrão	0,037	0,041	0,020	0,026	0,026	0,026	0,022	0,000
Variância da amostra	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
Intervalo	0,080	0,100	0,050	0,070	0,070	0,070	0,050	0,000
Mínimo	0,550	0,600	0,750	0,800	0,680	0,730	0,900	1,000
Máximo	0,630	0,700	0,800	0,870	0,750	0,800	0,950	1,000
Soma	2,880	3,250	3,910	4,220	3,530	3,800	4,570	5,000
Contagem	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000

Fonte: Do autor.

De posse do procedimento, na sequência, testes com 120 amostras foram realizados para garantir a significância dos resultados.

5.2 CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DOS AMBIENTES

Pretende-se, nesta seção, demonstrar a aplicabilidade do modelo desenvolvido na unidade Embrapii Polo (Unidade Embrapii Polo). Para tanto, o método de classificação denominado *Learning Efficiency Workspace* foi adotado.

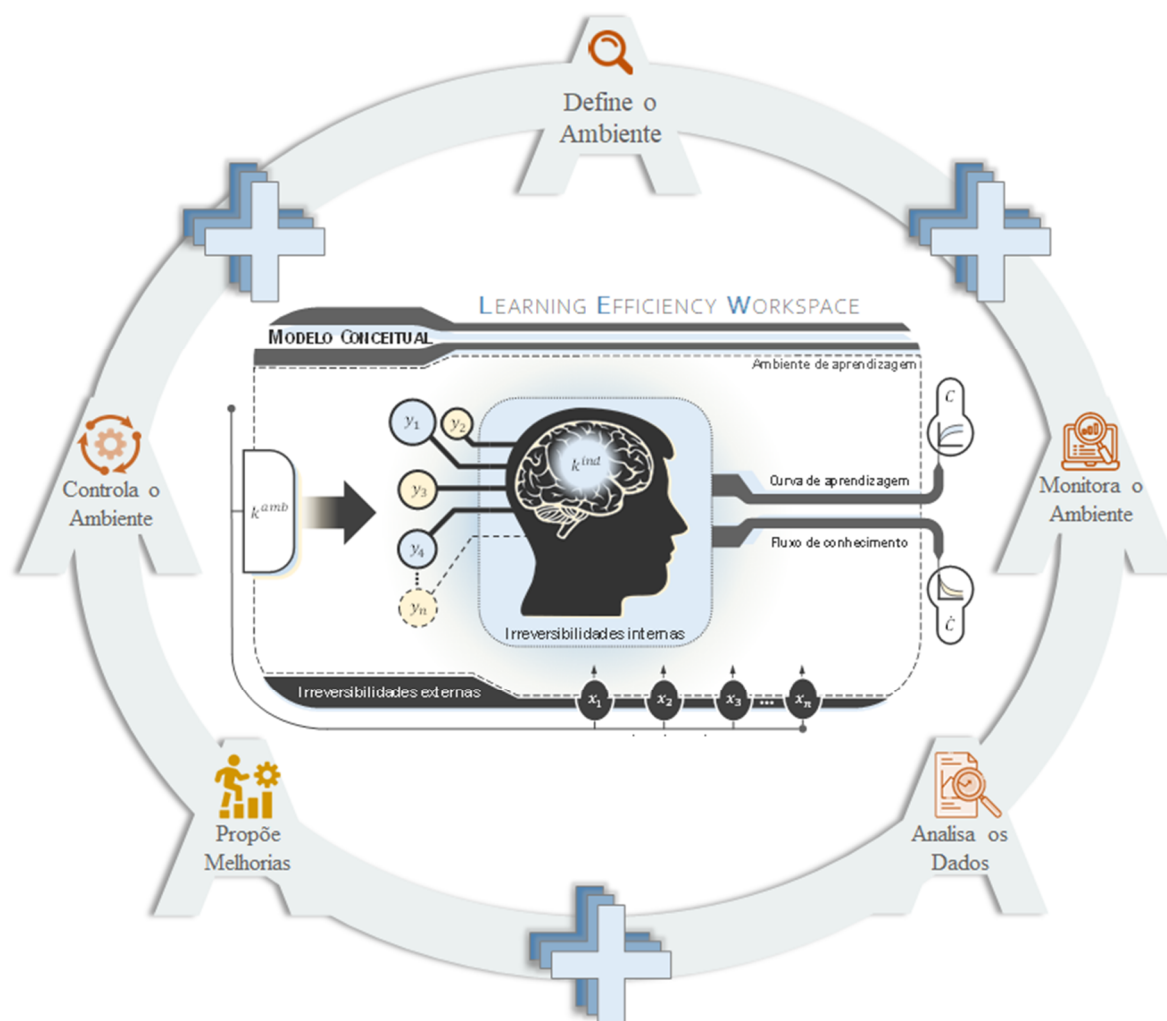
5.2.1 Métrica de classificação da qualidade do ambiente

A métrica utilizada para definir de forma quantitativa a qualidade do ambiente, designada *Learning Efficiency Workspace*, foi desenvolvida especificamente para este trabalho. A métrica dispõe de uma classificação dividida em 5 níveis, que variam de B a A⁺⁺⁺, sendo que ambientes com eficiência de aprendizagem maiores que 95% são classificados como A⁺⁺⁺ e, ambientes com qualidade inferior a 50% são classificados como B.

Em suma, visando a aplicação da metodologia proposta, a primeira etapa da análise conta com a definição do ambiente o qual se almeja avaliar a qualidade em termos de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, através de indicadores de desempenho. O segundo passo consta na instalação da estação de medição dentro do ambiente e monitoramento das variáveis de interesse. Com a aquisição dos dados realizada, segue-se para análise e processamento dos dados obtidos, transformando-os em indicadores capazes de fornecer informações úteis na proposição melhorias nos ambientes avaliados. A etapa de análise serve para identificar possíveis perdas no fluxo de conhecimento decorrentes da influência do ambiente. Mais adiante, a próxima etapa visa a identificação de oportunidades de melhoria no ambiente a fim de intensificar o fluxo, visando alcançar os valores ideais, onde o ambiente não impacta na produtividade dos colaboradores. Após as análises dos dados e propostas de melhorias, é possível avançar para a etapa de controle do ambiente, que compreende a integração de todo o sistema descrito na Figura 50.

A aplicação de cada etapa do ciclo doravante denominado *Learning Efficiency Workspace* pode ser entendida como a principal diretriz a fim de obter vantagens na gestão da qualidade de ambientes de ensino e inovação. Por outro lado, a falta de aplicação do ciclo prejudicará a gestão da qualidade desses ambientes, muitas vezes mantendo prejuízos irreversíveis para os ocupantes e conseqüentemente para organização.

Figura 50 – Método de classificação L.E.W.



Fonte: Do autor.

Em decorrência dos prejuízos observados no desempenho dos ocupantes, no caso de um ambiente desfavorável, uma organização de ensino/ inovação pode constatar um impacto direto na entrega de seus trabalhos/projetos, acarretando em prejuízos financeiros, ou até mesmo no rompimento de um contrato, como é o caso das unidades Embrapii, que são periodicamente avaliadas através dos indicadores de desempenho. Logo, os prejuízos financeiros variam de unidade para unidade, podendo chegar a uma magnitude de milhões ou bilhões dependendo do contrato firmado. Partindo do princípio que o principal produto de uma unidade de ensino e inovação como a Embrapii é o conhecimento, a perda desse ativo valioso impacta diretamente no futuro e na formação das pessoas e, por conseguinte, nos lucros da organização.

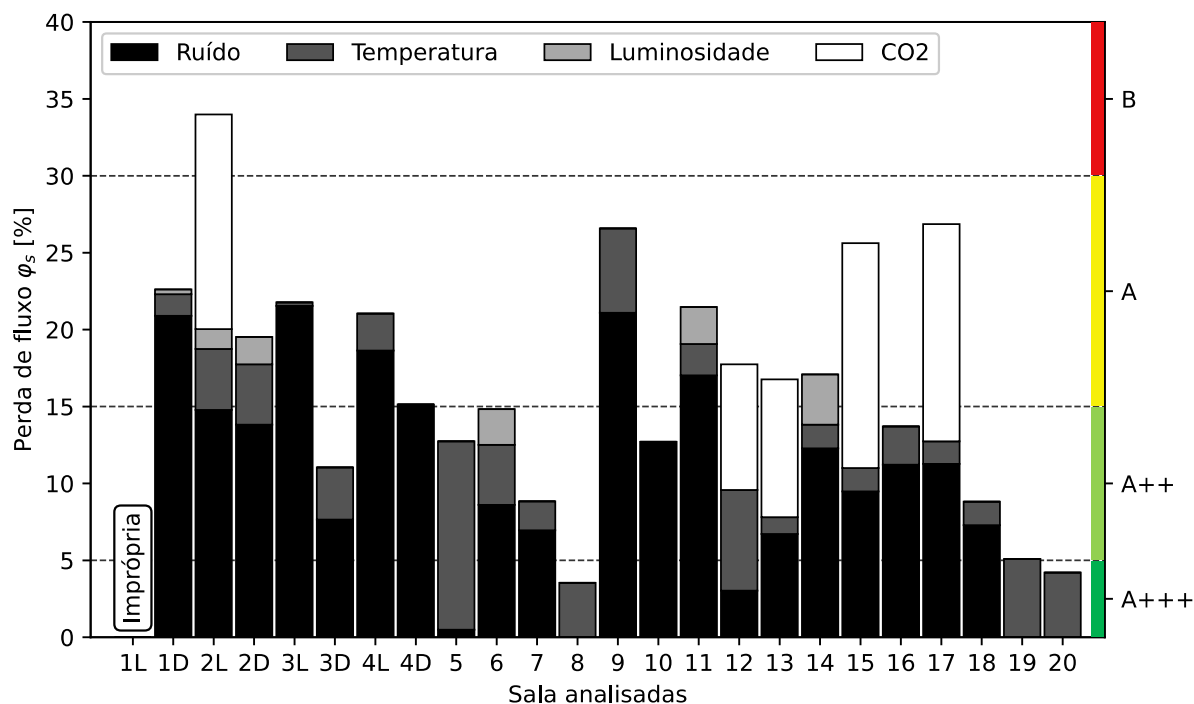
5.2.2 Classificação da qualidade do ambiente

No total, foram avaliadas 24 salas da unidade Embrapii Polo, com o intuito de analisar o impacto dos agentes estressores de cada ambiente considerando efeito nulo de irreversibilidades internas para fim de comparação (*i.e.*, $K_{1 \rightarrow 2}^{ind} = 1$: emissor e receptor ideais). O indicador de perda de fluxo de conhecimento ou de tempo, representado por φ_s , denota em termos percentuais o desperdício de tempo em uma dada atividade causado pelo impacto dos agentes estressores do ambiente, como ilustra a Figura 51. Em outras palavras, esse indicador pode mostrar à organização o adicional de tempo dispendido na realização das atividades quando comparado ao tempo que seria necessário para a mesma atividade em um ambiente ideal. Mais adiante, o impacto dos agentes estressores de forma fragmentada é apresentado na figura para cada sala analisada. Dessa forma, além da penalização relacionada ao desperdício de tempo em cada sala, também é possível avaliar de forma ponderada o impacto individual de cada variável independente, identificando as principais fontes de deprecação da qualidade do ambiente. Ainda, de acordo com a Figura 51, é possível observar de forma isolada que a sala 1L foi classificada como imprópria para atividades de aprendizagem e inovação. Este resultado representa que os valores medidos extrapolaram os limites estabelecidos no modelo, que se baseiam nos limites estabelecidos pelas normas vigentes. Também de forma isolada, a sala 2L recebeu índice B de classificação. Isso significa que existe uma perda de fluxo de conhecimento neste ambiente, da ordem de 35% (21 min de tempo desperdiçado em uma atividade de 1 h). Pode-se destacar ainda, que as salas 1D, 2D, 3L, 4L, 4D, 9, 11, 12, 13, 14, 15 e 17 obtiveram uma classificação do tipo A, que indica uma perda de fluxo de conhecimento da ordem de 25%. As salas 3D, 5, 6, 7, 10, 16 e 18, foram classificadas como A⁺⁺, com perda de fluxo de conhecimento da ordem de 10%. Finalmente, as melhores classificações, com A⁺⁺⁺, ou seja, que apresentam uma menor influência do ambiente no fluxo de conhecimento, foram as salas 8, 19 e 20.

Com relação a análise de cada agente estressor nos ambientes, é possível observar um predomínio do ruído na maioria das salas avaliadas. O índice de CO₂ também se destaca nas salas 2L, 12, 13, 15 e 17, sendo observada uma correlação direta com a redução de área e o aumento do número de ocupantes, aliado à ausência de um sistema adequado para renovação de ar. A temperatura apresentou valores mais elevados nas salas 5, 9, 12, 19 e 20. Esses valores são causados, majoritariamente, pela geração de carga térmica do próprio aparato experimental.

Finalmente, a iluminação apresenta um menor impacto na maioria das salas analisadas. Foi observado nas salas 6, 11 e 14, que o próprio aparato experimental utilizado para pesquisa foi construído de tal forma que atrapalha a projeção direcional de energia luminosa.

Figura 51 – Avaliação das fontes de irreversibilidades externas.



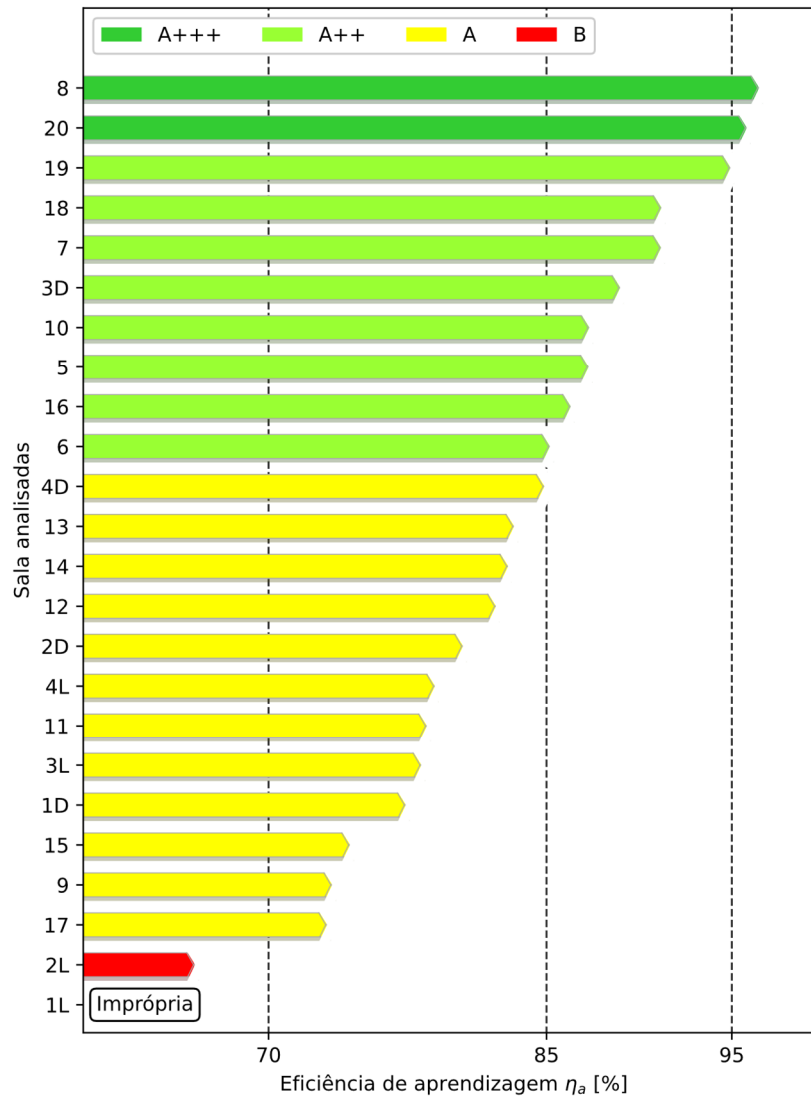
Fonte: Do autor.

A despeito da classificação global das salas analisadas, a Figura 52 apresenta, em ordem decrescente, o valor da eficiência de aprendizagem obtido para cada ambiente. Observa-se que apenas duas salas receberam a classificação máxima (A^{+++}), com valores de eficiência acima de 95 %. Na sequência, oito salas obtiveram classificação A^{++} , 12 salas foram classificadas como A, enquanto apenas uma recebeu classificação B. Do ponto de vista de aplicação, é possível observar que a escala apresenta sensibilidade suficiente para qualificar os diferentes ambientes, ao ponto que salas da mesma organização são passíveis de distinção. De modo geral, o mapa de eficiência pode ser aplicado à diferentes tipos de organização.

Ainda, percebe-se que a maioria das salas analisadas recaem sobre os níveis intermediários, com apenas duas salas alcançando a pontuação máxima, fato que corrobora com a teoria aplicada, onde é definido um nível ideal de máxima eficiência, difícil de ser verificado na prática, uma vez que todos os índices precisam atender os níveis adequados de forma

simultânea. Maiores detalhes podem ser apurados a partir do apêndice C, onde se encontram os resultados experimentais obtidos.

Figura 52 – Mapa de eficiência de aprendizagem da Unidade Embrapii Polo.

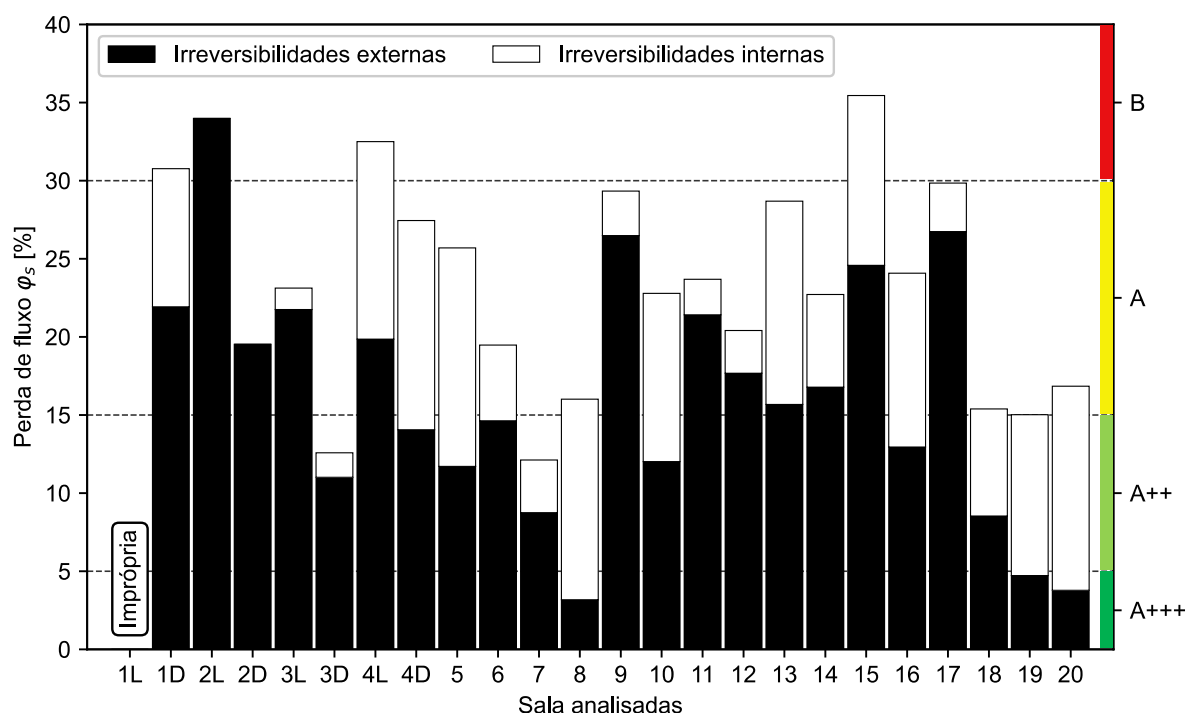


Fonte: Do autor.

Com o intuito de exemplificar a potencialidade do modelo, uma análise similar àquela apresentada na Figura 51 é proposta, porém, nesse caso, considerando os fatores intrapessoais. Assim, na Figura 53 estão expostos os impactos das irreversibilidades externas e internas sobre a perda de fluxo de conhecimento. As perdas externas foram determinadas na Figura 51, enquanto que as perdas internas foram calculadas através do formulário detalhado no Apêndice C. Assim, é possível perceber que o modelo possui a capacidade de avaliar de forma

simultânea os agentes estressores e as características intrapessoais dos indivíduos, permitindo a comparação entre os efeitos sob uma mesma base. Dessa maneira, a partir da Figura 53, é possível observar que o efeito dos agentes estressores é predominante, mas que as irreversibilidades internas podem penalizar a classificação do conjunto sala/indivíduo em 1 (um) patamar, como visto nos ambientes: 3D, 4L, 4D, 5, 6, 10, 15, 16, 18, 19, ou até mesmo em 2 (dois) patamares, como é o caso das salas 8 e 20.

Figura 53 – Avaliação das irreversibilidades combinadas.



Fonte: Do autor.

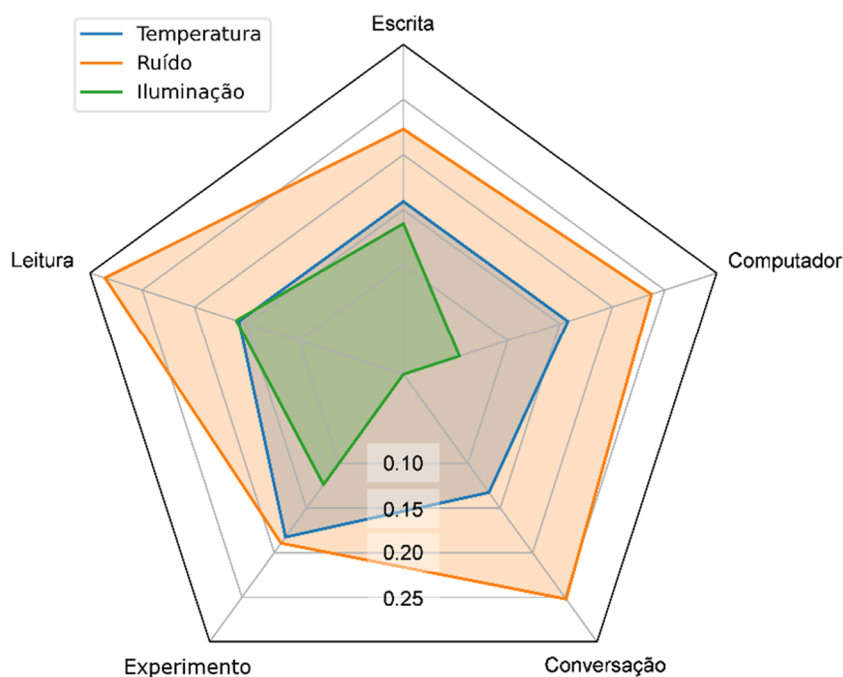
Na próxima seção, serão apresentados os resultados referentes as cinco dimensões de análise proposta na seção 3.2.8.

5.2.3 Análise da eficiência de aprendizagem em cinco dimensões

Conforme apresentado na seção 3.2.8 as cinco dimensões de análises escolhidas para a avaliação do efeito combinado dos agentes estressores foram: atividades de escrita, leitura, computacional, experimental e conversação, que representam os nós do conhecimento

discutidos anteriormente. É possível observar na Figura 54 que o ruído, como dito anteriormente, apresenta o maior impacto individual sobre a eficiência de aprendizagem.

Figura 54 – Dimensões de análise dos *knowledge nodes*.



Fonte: Do autor.

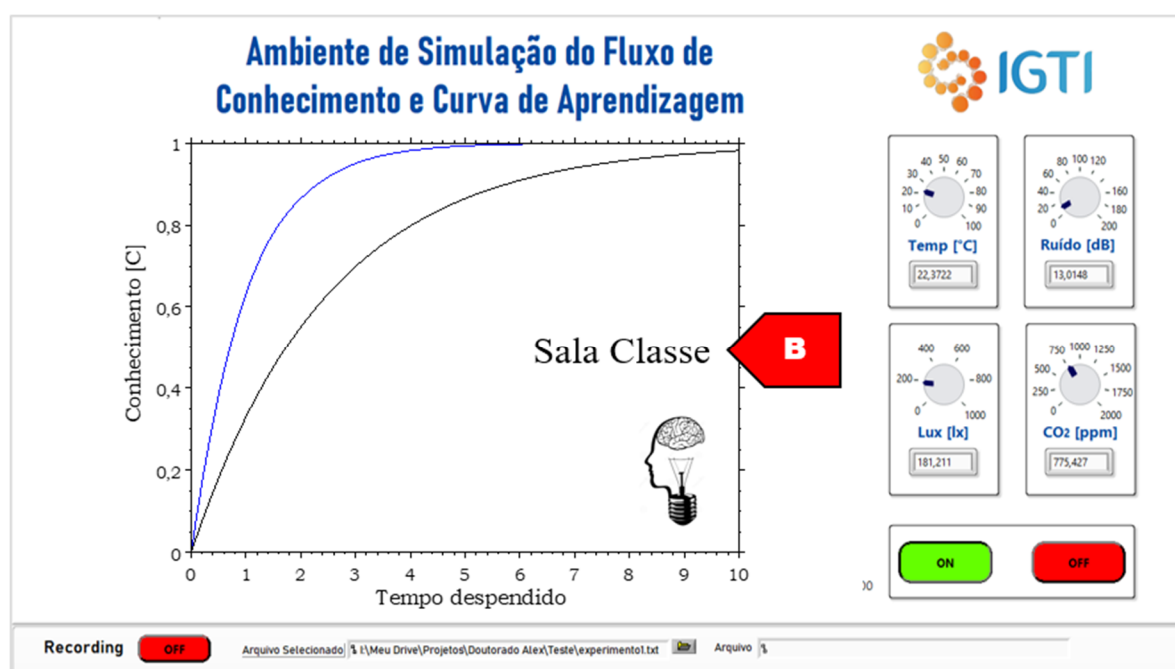
De forma detalhada, é possível observar ainda que o impacto do ruído se demonstrou maior em atividades de leitura e conversação. A temperatura, por sua vez, apresenta o maior impacto na atividade de experimental, sendo que nas outras atividades os valores percebidos tendem a ser mais homogêneos. Percebe-se também que os valores correspondentes a iluminância afetam mais as atividades relacionadas as atividades de leitura, escrita e experimental, como esperado. O gráfico do tipo radar, abaixo, elucida essas proporções de forma detalhada.

Na próxima seção, será apresentado um ambiente de simulação criado a partir dos *insights* obtidos nesta pesquisa. Este ambiente poderá fornecer apoio à fase de pré-projeto dos ambientes, conforme comentado anteriormente.

5.2.4 Ambiente de simulação computacional

A simulação computacional realizada nesta pesquisa buscou descrever a capacidade de classificação da qualidade do ambiente ainda durante a fase de pré-projeto. Dessa forma, esse tipo de estudo, de caráter computacional, pode permitir uma tomada de decisão antecipada de um gestor, com o intuito de melhorar a qualidade do ambiente de trabalho onde serão desenvolvidas as novas atividades de ensino e inovação. O ambiente de simulação apresentado na Figura 55 simula o comportamento de locais reais tomando como base o modelo criado especificamente para este estudo.

Figura 55 – Ambiente de simulação.



Fonte: Do autor.

O lado direito do *front-end* disposto na figura aponta botões que permitem a escolha de diferentes níveis de temperatura, ruído, iluminância e CO₂, de forma a iniciar a simulação. Para realizar a simulação, basta definir os requisitos de projeto para o ambiente. Os requisitos de projeto levam em consideração, por exemplo, a quantidade de equipamentos dispostos na sala e o respectivo nível de ruído gerado, bem como carga térmica inserida no ambiente e nível de iluminação previsto.

Neste sentido, com base no desenvolvimento teórico realizado nesta pesquisa, é possível obter a qualidade do ambiente através de um indicador quantitativo, obedecendo a classificação proposta. Assim, projetos que visam o desenvolvimento de ambientes adequados para atividades de aprendizagem e inovação podem ser manipulados de forma preditiva, via simulação, para obtenção da classificação desejada, o que auxiliaria instituições como o GBC (*Green Building Council Brazil*), que faz parte de um movimento global, que atua com o propósito de certificar ambientes no sentido de níveis adequados de conforto térmico, acústico, luminoso e qualidade do ar interior a fim de combater a síndrome dos edifícios doentes.

Não obstante, é importante salientar que o uso da simulação computacional, endereçada ainda no início do projeto de uma edificação, evita custos indesejados na elaboração (construção) do ambiente, já que a mesma possibilita uma visão clara das estimativas nos pontos desejáveis e indesejáveis do ambiente analisado utilizando apenas capacidade computacional para simulação, além de, é claro, apresentar maior agilidade na aferição dos dados, quando comparada às análises laboratoriais. De forma complementar, evita-se também o re-projeto, ou até mesmo uma reforma ou reconstrução, do ambiente, o que ocasionaria em custos excedentes.

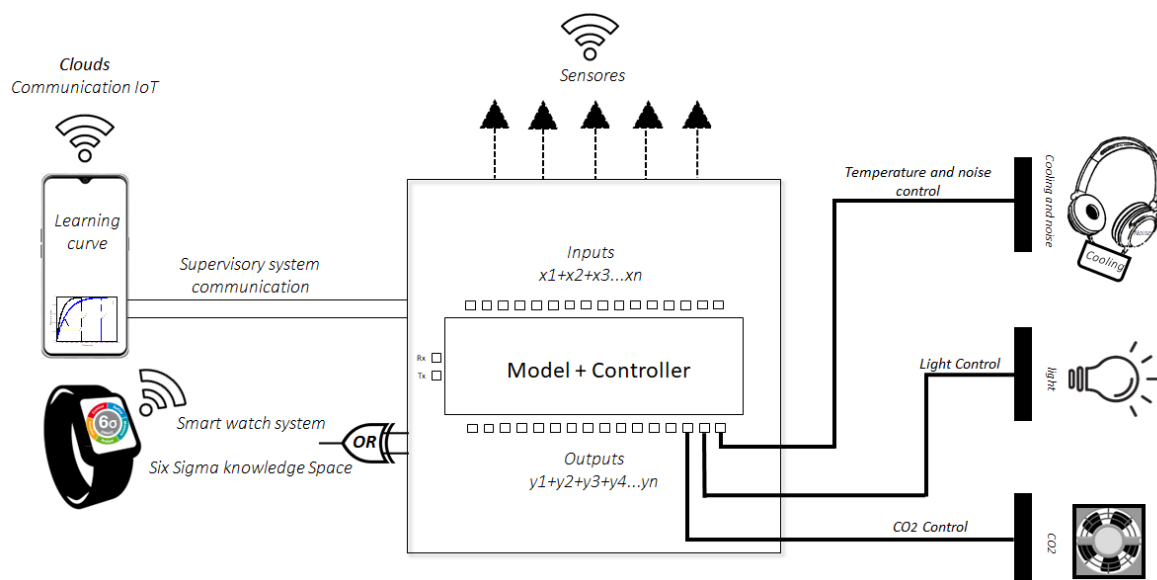
5.2.5 Proposta de ato inventivo

A materialização do arcabouço elaborado ao longo do trabalho culminou em uma estação de medição, monitoramento e controle, que permitiu avaliar as irreversibilidades internas, aqui interpretadas como: características de desempenho do indivíduo (taxa de aprendizagem, motivação, conhecimento inicial em uma determinada tarefa), além das irreversibilidades externas, aqui entendidas como: características referentes ao impacto dos agentes estressores presentes no ambiente, sobre o indivíduo, durante a realização de uma dada tarefa (temperatura, ruído, iluminância, CO₂). Os vários módulos do aparato possibilitam a medição das variáveis de interesse, bem como o controle sobre estas em tempo real. A estação de medição pode ser operada remotamente, permitindo, através de conexões *Wi-fi* e *bluetooth*, a comunicação com outros aparelhos inteligentes e sensores. A estação de medição é composta por *software* e *hardware*. O *software* pode ser implementado em diferentes plataformas, envolvendo inclusive dispositivos *mobile*, tais como computadores, celulares, tablets ou *smartwatches*. As entradas do *hardware* permitem a aquisição de sinais através dos sensores de

medição, e, as saídas podem enviar sinais para controlar a temperatura, ruído, iluminância e CO₂ em níveis ideais.

A estação também pode ser usada para medir, controlar e atuar sob diferentes aparelhos (e. g., sistema de condicionamento de ar *Wi-fi*, sistema de iluminação inteligente com interface de voz, sistema de cancelamento ativo de ruído, via *IoT*, a fim de minimizar perdas no fluxo de conhecimento e do desempenho dos ocupantes. A Figura 56 ilustra uma visão integradora da solução em questão, atendendo aos requisitos da DSR, que prega como ponto principal o foco a solução do problema e a utilidade do modelo (MARCH e SMITH, 1995).

Figura 56 – Representação esquemática do ato inventivo.



Fonte: Do autor.

Além disso, uma vez findada a avaliação do ambiente, a estação de medição e controle emite um relatório e/ou laudo técnico com os valores de todas as variáveis medidas e impostas.

Na busca de minimizar os prejuízos inerentes a organização pela depreciação do desempenho de seus colaboradores através da influência de agentes estressores presentes no ambiente, justificasse o estudo aqui apresentado, intitulado como, Análise Teórica e Experimental do Efeito combinado dos Agentes estressores sobre o Fluxo de conhecimento e Curva de aprendizagem no contexto da Embrapii.

6 COMENTÁRIOS FINAIS

Este capítulo dedica-se a apresentar a síntese da tese, bem como as recomendações para trabalhos futuros.

6.1 CONCLUSÃO

SOBRE OS OBJETIVOS DA TESE

Um novo método de análise teórico-experimental para a avaliação do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem foi elaborado através da avaliação do efeito combinado dos agentes estressores presentes em um ambiente de inovação e aprendizagem, qualificado como unidade Embrapii (UE). Características inovadoras foram incorporadas ao modelo matemático, elaborado com apoio nos princípios fundamentais de modelos analíticos do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, após uma análise criteriosa na literatura pertinente.

Três coeficientes obtidos foram utilizados para medir a qualidade dos ambientes e, classificá-los através do método proposto, denominado *Learning Efficiency Workspace*. O modelo matemático incorporado apresentou resultados satisfatórios, tanto para a avaliação do fluxo de conhecimento, quanto para a curva de aprendizagem, levando em consideração as perdas de conhecimento advindas das irreversibilidades externas do ambiente. Desta forma, foi possível transformar os valores obtidos em indicadores importantes para a organização.

Uma das maiores dificuldades nesta pesquisa foi a busca incessante por uma métrica para computar o fluxo de conhecimento e suas perdas. Desse modo, a criação de uma nova métrica, permitiu o avanço da pesquisa, convertendo valores de fluxo de conhecimento e eficiência de aprendizagem em indicadores quantitativos relevantes, como o tempo adicional em uma determinada atividade, por conta da influência de um ambiente inóspito. Essa concepção pode ajudar outras organizações a avaliar o fluxo de conhecimento e suas perdas, ou até mesmo, servir de *insight* para criação de outras métricas.

Um mapeamento completo dos agentes estressores de todas as salas da unidade Embrapii foi obtido através o modelo desenvolvido especificamente para esta pesquisa. Com o mapeamento, foi possível observar os principais gargalos relacionados ao fluxo de conhecimento e eficiência de aprendizagem nos ambientes avaliados. As maiores perdas de

fluxo de conhecimento entre os ambientes analisados, por exemplo, foram da ordem 35 %, o que culminaria em um acréscimo de 2,8 h em uma jornada de trabalho de 8 h considerando a mesma produtividade.

A partir desses indicadores, foi possível propor melhorias para diminuir as perdas de conhecimento, aumentando o desempenho dos ocupantes e consequentemente os lucros da organização. Algumas melhorias como a implantação de sistema de renovação de ar nas salas devido à alta concentração de CO₂ já estão sendo realizadas. Além disso, com relação a iluminação, melhorias também já estão sendo implantadas. Com relação as melhorias sobre a temperatura e ruído, a melhor solução ainda está sendo avaliada.

Frente ao presente exposto, recomenda-se que as diretrizes de projeto para ambientes de inovação e aprendizagem considerem os efeitos da irreversibilidade externa provocado pelos agentes estressores, de forma a incorporar a faixa recomendada para parâmetros internos de qualidade e gestão do ambiente de acordo com a classificação *Learning Efficiency Workspace* proposta nesta tese.

Pode-se afirmar, portanto, que os objetivos almejados nesta tese foram alcançados ao fechar o elo de ligação entre os efeitos de irreversibilidades internas (dificuldade ou perda de conhecimento inerentes de cada indivíduo) e externas (perdas de conhecimento por influência do ambiente), sendo a segunda o principal foco desta tese.

SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Um novo modelo para avaliação combinada do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem foi proposto neste estudo. A principal contribuição neste quesito foi a implementação das irreversibilidades externas, responsáveis por introduzir o impacto das variáveis do ambiente sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem. As principais variáveis analisadas de forma independentes foram: temperatura, ruído, iluminância e CO₂. A análise confirmou que existe uma influência significativa dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, o que afeta diretamente no desempenho dos colaboradores. Além disso, o modelo é bastante flexível, permitindo a adição de outras variáveis relevantes, dependendo do tipo de aplicação/organização. O modelo ajudou a estabelecer conexões importantes com o mundo real e pode ser enriquecido com características mais específicas a partir da concepção, desenvolvimento e incorporação de modelos mais

complexos. Assim, esta etapa independe da escolha de tecnologias e protótipos que ajudam no entendimento dos processos. Portanto, pode-se afirmar que o modelo trata da descrição do sistema proposto na forma de um conjunto de ideias e conceitos integrados a respeito do que se deseja resolver.

Com o modelo arquitetado foi possível quantificar as perdas de conhecimento relativas as influências do meio, algo que outros modelos de curva de aprendizagem e fluxo de conhecimento presentes na literatura não mensuravam, considerando, até então, o ambiente como um lugar ideal. Ainda na fase conceitual, foi decidido uma maneira consistente de como classificar os ambientes que sofriam mais ou menos impactos dos agentes estressores. Dessa forma, optou-se por aplicar uma métrica de classificação com quatro níveis, variando de B à A⁺⁺⁺, sendo que ambientes com menor eficiência de aprendizagem, ou maior perda de fluxo de conhecimento, são classificados em uma escala inferior, já ambientes com maior eficiência de aprendizagem podem chegar a uma classificação A, A⁺⁺ ou A⁺⁺⁺, sendo a última um ambiente considerado ideal.

SOBRE O APARATO EXPERIMENTAL

Um ambiente controlado foi construído especificamente para atender as faixas de controle das variáveis estabelecidas na etapa do planejamento experimental. Os ensaios experimentais foram conduzidos em um ambiente controlado, que ofereceu o controle de temperatura, ruído, iluminância em diferentes níveis. Além disso, foi possível monitorar o nível de CO₂ dentro desse ambiente. O ambiente controlado foi capaz de manter a temperatura ambiente dentro de uma faixa de 15 °C a 50 °C. A velocidade do ar em qualquer ponto dentro da sala não excede 0,25 m/s, representando uma condição típica de convecção natural, que é o que se encontra na maioria das organizações. A sala foi composta por um sistema de refrigeração, um sistema de circulação de ar (ventiladores e dampers), um sistema de aquecimento (resistências elétricas) e um boiler (resistência elétrica submersa em um reservatório d'água). A temperatura interna da sala, medida através de cinco termopares localizados na parte superior, foi controlada por um controlador do tipo PID, que atua sobre os resistores elétricos posicionados de forma a receber o fluxo de insuflamento do ar, e, através de um sistema de resfriamento que operou de forma contínua. Também foi possível controlar a luminosidade da sala através da instalação de um *dimmer* nas lâmpadas. Por fim, o aparato

desenvolvido atendeu todas as condições previstas e, permitiu a realização de todos os ensaios previstos na matriz de teste DoE. Toda essa preparação experimental proporcionou um maior grau de liberdade e precisão durante a realização de todos os ensaios. É importante findar que nenhum ensaio ultrapassou os limites de exposição estabelecidos pelas normas vigentes. Além disso, através da análise estatística, foi possível apurar a significância dos experimentos. A análise entre testes evidenciou, através da comparação $F > F_{crítico}$, significância dos efeitos dos agentes estressores do ambiente sobre eficiência de aprendizagem e fluxo de conhecimento. Além disso, o *valor-P* tendendo a um valor nulo indica que o nível de confiança poderia ser maior que 95 %. Com relação aos resultados amostrais, evidenciou-se que apesar dos indivíduos trabalharem na mesma organização e terem um nível de aprendizagem similar, os resultados obtidos a partir da inequação: $F > F_{crítico}$ indicam que a percepção das amostras sobre as condições do ambiente foi distinta. Logo, este resultado comprova que a escolha das amostras não foi tendenciosa, eliminando vieses indesejados. Finalmente, o coeficiente de dispersão obtido ficou da ordem de 5 %. Valores de coeficiente de dispersão dentro do intervalo $C_v \leq 15\%$ são interpretados estatisticamente como baixa dispersão, confirmando a validade experimental da pesquisa.

SOBRE A CONCEPÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

O modelo foi empregado para avaliar o efeito combinado dos agentes estressores (temperatura, ruído, iluminação e CO₂) sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem de forma quantitativa. Apesar das limitações impostas pela faixa dos parâmetros estudados, as seguintes conclusões podem ser comentadas.

O modelo foi formulado com base no modelo conceitual, que previa como saídas um indicador de fluxo de conhecimento e outro de curva de aprendizagem. Com base na literatura, o modelo analítico de fluxo de conhecimento que melhor representou a necessidade de pesquisa foi o modelo de Huang (2007), devido ao contexto de aplicação. Entre os modelos analíticos de curva de aprendizagem, o que melhor se adequou foi o modelo Exponencial – 3, devido sua fácil implementação e capacidade de mensurar conhecimentos iniciais do indivíduo em uma dada tarefa. Entretanto, nenhum desses modelos envolviam coeficientes capazes de contabilizar a influência do ambiente de forma detalhada na dimensão dos agentes estressores. Logo, a partir de uma manipulação matemática, foi possível obter tanto o fluxo de conhecimento como a curva

de aprendizagem em um único modelo, congregando-os. Posteriormente, os coeficientes que avaliam as irreversibilidades externas foram calibrados com base em evidências experimentais. Indo de encontro às técnicas de tentativa-e-erro e de análise de fatores individuais, extensivamente empregadas na literatura, optou-se por uma metodologia baseada em experimentação fatorial, na qual os parâmetros do modelo foram analisados simultaneamente, de modo que tanto seus efeitos individuais como os efeitos de suas interações puderam ser compreendidos. Os coeficientes obtidos experimentalmente foram incorporados no modelo matemático proposto. O ruído apresentou o maior impacto individual, seguido da temperatura e iluminância. Com relação a iluminância, ficou claro que há um efeito sazonal para salas com janelas direcionadas ao nascer ou pôr do sol. O CO₂ também se mostrou uma variável preocupante em salas com volume reduzido e alta taxa de ocupação.

SOBRE O INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO (SOFTWARE & HARDWARE)

A principal vantagem do instrumento de medição na avaliação dos usuários foi a criação da interface intuitiva e amigável. A interface com usuário foi construída majoritariamente por elementos gráficos, sobre os quais os dois são representados por imagens e informações relevantes. Ainda, algumas funcionalidades disponíveis podem ser manipuladas diretamente pelo usuário, seja pela aplicação em aplicativos para dispositivos *mobile*, entre outros dispositivos inteligentes.

Além disso, o modelo matemático, desenvolvido na seção anterior, foi embarcado para aferição dos valores de fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem em tempo real. Outra vantagem do instrumento desenvolvido é que o mesmo pode ser aplicado em diferentes plataformas. O instrumento apresentou capacidade e desempenho suficientes no que tange a aquisição de dados através do bloco que compõe o *hardware*, e, capacidade de leitura e armazenamento dos dados através do *software*. Na segunda aba do *software* foi criado um ambiente de simulação, que, através da manipulação dos dados de entrada, permite a criação de diferentes ambientes, além da qualificação da qualidade do método *Learning Efficiency Workspace* antes mesmo da sala ser habitada. Esse ambiente de simulação também serve para captar dados de temperatura, ruído, iluminância e CO₂ ao longo de um dado período. Assim, a partir do conjunto de informações geradas via simulação, baseado apenas em detalhes de projeto é possível obter uma predição das condições do ambiente e dos ocupantes no cenário simulado,

o que ajudará *designers* e arquitetos a projetar ambientes de aprendizagem e inovação levando em consideração a qualidade do ambiente em termos de perdas de conhecimento.

Com relação ao *hardware* desenvolvido, o mesmo atendeu aos requisitos de projeto propostos no estudo. Os principais requisitos avaliados nesta etapa da pesquisa foram o custo, quantidades de entradas e saídas de dados, tipos de comunicação e processamento.

Com relação à análise da qualidade da medição, o Guia para Expressão de Incerteza de Medição do INMETRO (ISOGUM 2008) foi adotado. Foram considerados dois tipos de incerteza neste exame, as incertezas inerentes ao sistema de medição (u_{med}) e as incertezas relacionadas a repetição de medição (u_{rep}). Elas se relacionam de acordo com a expressão da incerteza combinada. Os resultados também foram satisfatórios, atendendo aos principais requisitos de projeto.

Finalmente, o método e o projeto detalhado do modelo proposto neste estudo, implementado no instrumento de medição, para avaliação do efeito combinado dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem, foram encaminhados para o registro de patente no INPI.

Quanto às limitações da pesquisa, é importante considerar que alguns resultados podem se restringir às situações, salas, participantes analisados e à organização foco da análise. No entanto, a escolha metodológica, a qual tem embasamento científico, demonstrou que os resultados apresentados responderam aos objetivos delineados, possibilitando a proposição do artefato que foi capaz de analisar os efeitos combinados do ambiente sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem no contexto de uma unidade Embrapii em tempo real.

SOBRE O MAPEAMENTO DAS PERDAS DE CONHECIMENTO DEVIDO A QUALIDADE DO AMBIENTE

Finalmente, foram avaliadas 24 salas que compunham diferentes equipes de projeto, tipos de experimentos e máquinas. As salas que apresentaram um menor impacto dos agentes estressores sobre o fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem foram classificadas como A, A⁺⁺ ou A⁺⁺⁺ e as salas que apresentaram um maior impacto foram classificadas como B, de acordo com a métrica adotada.

Foi possível observar o impacto dos agentes estressores de forma fragmentada. Assim, além da penalização relacionada ao desperdício de tempo em cada sala, também foi possível avaliar de forma ponderada o impacto individual de cada variável independente, o que facilita

a tomada de decisão do nível tático e estratégico da organização no sentido de propor melhorias para maximizar o desempenho de seus colaboradores.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

A fim de estender a aplicação modelo, recomenda-se:

- i.* Aplicar o estudo proposto em outros ambientes e/ou organizações, como por exemplo em salas para aplicação de prova do vestibular, concurso públicos, ambientes intensivos em inovação e afins.
- ii.* Propor modificações ao modelo no sentido de avaliar a inclusão de novos agentes estressores que podem afetar o conforto do usuário.
- iii.* Avaliar a intercambialidade do modelo através da comparação com outras correlações experimentais.
- iv.* Aplicar uma analogia baseada no conceito de energia livre de Gibbs na interpretação do *knowledge energy*.
- v.* Avaliar todo sistema de sensores e atuadores proposto nesta tese em malha fechada, otimizando o desempenho de cada trabalhador com o ambiente totalmente controlado, uma vez conhecido o ponto ótimo. Para tanto, todos os equipamentos do ambiente como ar condicionado, sistema de controle de ruído, ajuste automático de iluminação e retorno de ar com controle de dióxido de carbono devem estar conectados em malha fechada com o artefato desenvolvido neste estudo ou similar.
- vi.* Avaliar a gestão inteligente e adaptativa de ambientes, além de medir, analisar e atuar de maneira automática no conforto e na eficiência de ambientes a partir dos valores de indicadores do fluxo de conhecimento e curva de aprendizagem.

- vii. Buscar sinais quantitativos de eficiência de aprendizagem do indivíduo através de técnicas de neurociência, olhando para as irreversibilidades internas ao indivíduo, de acordo com os estudos propostos por Boaler *et al.* (2016).

- viii. Avaliar a concepção e representação matemática da curva de esquecimento proposta por Hermann Ebbinghaus a fim de obter novas contribuições para essa área do conhecimento.

- ix. Estender o estudo proposto a outras áreas do conhecimento, deixando o estudo com um caráter cada vez mais multidisciplinar e interdisciplinar.

REFERÊNCIAS

- ACATE. Associação Catarinense de Empresas de Tecnologia. **Estatuto Social**. Florianópolis, 2007.
- AMES, Aline Brum; STAUB, Angelo. Estresse organizacional e principais agentes estressores: estudo de caso em uma clínica de hemodiálise de santa cruz do sul. **Revista da Faculdade Dom Alberto**, v. 10, n.2, 2012.
- ANZANELLO, Michel José. Curvas de aprendizado como balizadoras da alocação de modelos de produtos a equipes de trabalhadores. 2004.
- ANZANELLO, Michel J.; FOGLIATTO, Flavio Sanson. Learning curve modelling of work assignment in mass customized assembly lines. **International journal of production research**, v. 45, n. 13, p. 2919-2938, 2007.
- BEVILACQUA, Luiz; GALEAO, Augusto César N.R; MONTEIRO, Sônia Limoeiro; COSTA, Flávio P. **Knowledge diffusion paths in a research chain**. Buenos Aires, 2010.
- BITTARELLO, Kamila Patrícia. **O fluxo de conhecimento no ambiente das redes de empresas de base tecnológica**. (Dissertação) Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento. UFCS, Florianópolis, 2014.
- BILLS, Arthur Gilbert. **General experimental psychology**. 1934.
- BOALER, J., Chen, L., Williams, C., Cordero, M. Seeing as understanding: The importance of visual mathematics for our brain and learning. **Journal of Applied & Computational Mathematics**, v. 5, n. 5, p. 1-6, 2016.
- BRADY, Tim et al. Tools for technology management: an academic perspective. **Technovation**, v. 17, n. 8, p. 417-426, 1997.
- BRUNO, Flávio da Silveira. A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção: a visão de futuro para 2030. 2017.
- BUCHELE, Gustavo Tomaz et al. Métodos, técnicas e ferramentas para inovação: o uso do brainstorming no processo de design contribuindo para a inovação. **Pensamento & Realidade**, v. 32, n. 1, p. 61, 2017.
- BULNES, Maria EP. **Transferência de Conhecimento Como Processo Difusivo**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Petrópolis, Rio de Janeiro.
- BURGOYNE, J.; JAMES, K. T. Towards Best or Better Practice in Corporate Leadership Development: Operational Issues in Mode 2 and Design Science research. **British Journal of Management**, v. 17, p. 303-316, 2006.

CARNEIRO, Mônica Ramos. Instrumentalização do framework do desenvolvimento urbano baseado em conhecimento (KBUD) para suporte à tomada de decisão na governança das cidades. 2020. 189 p. Tese (Doutorado) - Pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2020.

CARVALHO, Ana Clara Silva. **Estresse ocupacional entre enfermeiros que trabalham num hospital universitário: estudo do impacto do trabalho em turnos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

CASTRO, Fabiola Pereira de; CAMPOS, Gabriela Toledo de; GILABERTE, Thalissa Pádua. A EMBRAPII como perspectiva à inovação. *Cad. Prospec.*, Salvador, v. 10, n. 2, 2017. p.164-176.

CCTCI. Comissão de Ciência e Tecnologia Comunicação e Informática. 2011. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/2011+CCTCI>. Acesso em: 30 jun. 2020.

CHIAVENATO, Idalberto. Recursos Humanos: Edição Compacta. São Paulo: Atlas, 2002. **Recursos Humanos: o capital humano das organizações. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.**

CUPANI, Alberto. La peculiaridade del conocimiento tecnológico. *ScientiaeStudia*, São Paulo, v. 4, n. 3, 2006. p. 353-371.

CUPANI, Alberto. **Filosofia da Tecnologia: um convite**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2011.

DALMARCO, Gustavo. Fluxo do conhecimento na interação Universidade-Empresa: Uma análise de setores tradicionais de alta tecnologia no Brasil e na Holanda. **(Tese) Pós-Graduação em Administração**. UFRGS, Porto Alegre, 2012.

DAVID, P. A., FORAY, D. (2001). An introduction to the economy of the knowledge society. **International Social Science Journal** 54(171), 9-23.

DE BEEN, Iris; BEIJER, Marion. The influence of office type on satisfaction and perceived productivity support. **Journal of Facilities Management**, 2014.

DOS SANTOS, Marcelo et al. O Método de Crank-Nicolson aplicado ao Modelo de Difusão de Conhecimento: Uma Simulação para o Processo de Transmissão de Conhecimento. **International Journal of Knowledge Engineering and Management (IJKEM)**, v. 4, n. 9, p. 129-146, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EMBRAPII - **Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial**. <<http://Embrapii.org.br/>> Acesso em: 10 outubro. 2017.

FISK, William J.; BLACK, Douglas; BRUNNER, Gregory. Changing ventilation rates in US offices: Implications for health, work performance, energy, and associated economics. **Building and environment**, v. 47, p. 368-372, 2012.

FLETCHER, Alan. **The learning curve**. Reino Unido: Chainline, 1996.

FREITAS, Rodrigo Klinger de. A natureza jurídica das parceiras influencia o desempenho? Uma investigação nas parcerias estabelecidas pela EMBRAPPII. 70 p. 2017. Dissertação (mestrado) - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas - Centro de Formação Acadêmica e Pesquisa. Rio de Janeiro, 2017.

FREITAS JUNIOR, Vanderlei; et al. A pesquisa científica e tecnológica. **Revista Espacios**, v. 35, n. 09, 2014.

GLEICK, James. **The information: A history, a theory, a flood**. Vintage, 2011.

HEVNER, Alan et al. Design science research in information systems. **MIS quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HUANG, N.T.; WEI, C.C.; CHANG, W.K. - **Knowledge management: modeling the knowledge diffusion in community of practice**. Knowledge management - Vol. 36 No. 5/6 p. 607-621, Emerald Group Publishing Limited, (2007).

ISOGUM. **Avaliação de Dados de Medição: Guia para a Expressão de Incerteza de Medição**, 1ª Edição brasileira, ABNT, INMETRO, 2008.

ILOVICI, Irina; HAN, J. (2003). Optimization of organizational knowledge transfer model. **Proceedings of the 16th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'03)**.

INCROPERA, Frank P. et al. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. 6ª edição. **Rio de Janeiro: LTC**, 2008.

JIANGTAO, Hai; CAN, Peng. Petri Net-based Knowledge-flow Model and it's Application [J]. **Science & Technology Progress and Policy**, v. 3, 2009.

JUNIOR, Jaime Miranda; POTRICH, Lídia Neumann; TODESCO, José Leomar. CLASSIFICAÇÃO DAS ABORDAGENS DE FLUXO DE CONHECIMENTO POR DOMÍNIO DE APLICAÇÃO: UMA ANÁLISE DA LITERATURA. In: **Anais do Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação–ciki**. 2021.

JUNIOR, Vanderlei FREITAS et al. A pesquisa científica e tecnológica. **Espacios**, v. 35, n. 9, 2014.

-
- JUNG, Carlos Fernando. **Metodologia científica** - ênfase na pesquisa tecnológica. 4ª Edição Revisada e Ampliada – 2004. Disponível em: <<http://www.jung.pro.br>.> Acesso em: 02 fev. 2021.
- KAMARULZAMAN, N. et al. An overview of the influence of physical office environments towards employee. *Procedia Engineering*, v. 20, p. 262-268, 2011.
- KAPLAN, Audrey; ARONOFF, Stan. Productivity paradox: worksettings for knowledge work. *Facilities*, 1996.
- KNECHT, G. Costing, Technological Growth and Generalized Learning Curves, *Operations Research Quart.*, Berlin, v. 25, n. 3, p. 487-491, sep. 1974
- KURTZ, Diego Jacob. (2011). **Fluxo de conhecimento interorganizacional: aspectos relacionados à cadeia suinícola brasileira.** (Dissertação) em Engenharia e Gestão do Conhecimento - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2011.193 p.
- LABIAK JR, Silvestre. (2012). **Método de análise dos fluxos de conhecimento em sistemas regionais de inovação.** (Tese) Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2012. 264 p.
- LACERDA, D. Pacheco, et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão & produção*, 2013, vol. 20, no 4, p. 741-761.
- LAIHONEN, H. Knowledge flows in self-organizing processes. *Journal of Knowledge Management*. 10 (4), pp. 127-135, 2013.
- LAN, Li et al. Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor air*, v. 21, n. 5, p. 376-390, 2011.
- LEE, Jiyoung et al. Integrated Approach to Evaluating the Effect of Indoor CO₂ Concentration on Human Cognitive Performance and Neural Responses in Office Environment. *Journal of Management in Engineering*, v. 38, n. 1, p. 04021085, 2022.
- Li, Xiao Zhong; DING, Yi Jie. Knowledge flow modeling and analysis in supply chain based on stochastic petri net. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications Ltd, 2012. p. 381-385.
- Li, X., & Zhang, B. (2019, October). Workflow-based Knowledge Flow Modeling and Research: Combination of Knowledge and Workflow. In Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and Application Engineering (pp. 1-6).
- Lin, C., Wu, J. C., & Yen, D. C. (2012). Exploring barriers to knowledge flow at different knowledge management maturity stages. *Information & management*, 49(1), 10-23.

LIPPMAN, Peter C. Can the physical environment have an impact on the learning environment?. 2010.

LORSCH, H.G. and ABDU, O.A. (1994). The impact of the building indoor environment on occupant productivity – part 1: Recent studies, measures and costs. *ASHRAE Transactions* 100(2) 741-749

LUCAS, Ruan Eduardo Carneiro et al. Análise da influência das variáveis ambientais e da percepção ambiental no desempenho de estudantes em ambientes de ensino superior. 2020.

MARTINS, Leonardo Cahuê. A EMBRAPPI e a necessidade de investimento em inovação para o setor industrial brasileiro. 33 p. 2018. Monografia (Pós-especialização) - Planejamento e Estratégias de Desenvolvimento – Escola Nacional de Administração Pública. Brasília/DF, 2018.

MARÇULA, Marcelo. **Informática: conceitos e aplicações**. Saraiva Educação SA, 2010.

MICEK, G. (2019). Geographical proximity paradox revisited: The case of IT service SMEs in Poland. *Sustainability*, 11(20), 5770.

MTP. Página institucional do Ministério do Trabalho e Previdência, 2022. Disponível em <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho>>. Acesso em: 29 abr. 2022.

NETO, Paulo Davila Garcia et al. Dimensionamento e construção de um dispositivo para a medição e controle de parâmetros de conforto térmico de baixo custo através da plataforma Arduino, 2019.

NISSEN, Mark; LEVITT, Raymond. Dynamic models of knowledge-flow dynamics. **Unpublished manuscript, Stanford University**.< http://www.stanford.edu/group/CIFE/online_publications/WP076.pdf> Accessed, v. 16, n. 06, 2002.

NISSEN, Mark E. (2002). An extended model of Knowledge-Flow Dynamics. **Communications of the Association for Information Systems**. Vol. 8, Article 18. pp. 251-266.

NOVAES, C. G. et al. Otimização de métodos analíticos usando metodologia de superfícies de resposta-Parte I: variáveis de processo. **Revista Virtual Química**, v. 9, n. 3, p. 1284-1215, 2017.

OBLINGER, Diana et al. **Learning spaces**. Washington, DC: Educause, 2006.

PASSARI, Alessandro Antonio. Análise do ruído, temperatura e da iluminância dentro de uma universidade pública. 2014.

PEFFERS, Ken et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PEFFERS, K. et al. The design science research process: A model for producing and presenting information systems research. In: **Proceedings of the First International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology (DESRIST 2006)**, Claremont, CA, USA. 2006. p. 83-106.

PRESTRELO, Luciano Torres, Influência dos níveis de CO2 sobre o conforto ambiental: Estudo de caso em salas de aula com climatização artificial, sem renovação de ar. 67 p. Dissertação (Mestrado profissional em Tecnologia Ambiental). Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2017.

RADOVAN, Marko; MAKOVEC, Danijela. Adult Learners' Learning Environment Perceptions and Satisfaction in Formal Education--Case Study of Four East-European Countries. **International Education Studies**, v. 8, n. 2, p. 101-112, 2015.

ROMME, A. G. L. Making a difference: Organization as Design. *Organization Science*, v. 14, n. 5, p. 558-573, 2003.

SATISH, Usha et al. Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance. **Environmental health perspectives**, v. 120, n. 12, p. 1671-1677, 2012.

SILVA, Talita Caetano et al. Framework Ponte TAP: gestão da curva de aprendizagem para a efetivação da transferência de aprendizagem para a prática do trabalho. 2019.

SILVA, Edna L. da; MENEZES, Estera M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p. Disponível em: <www.posarq.ufsc.br/download/metPesq.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2021.

SILVA, Mary Dayane Souza. Implicações do Ambiente Físico de Aprendizagem na Formação de Mestres Profissionais em Administração. **Revista Brasileira de Política e Administração da Educação-Periódico científico editado pela ANPAE**, v. 36, n. 2, p. 692-705, 2020.

SIMON, Herbert A. *The Sciences of the Artificial* 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

TEIXEIRA, Gilberto. Metodologia da pesquisa: a questão do método na investigação científica - 2007. Disponível em: <www.serprofessoruniversitario.pro.br/textos>. Acesso em: 02 fev. de 2021.

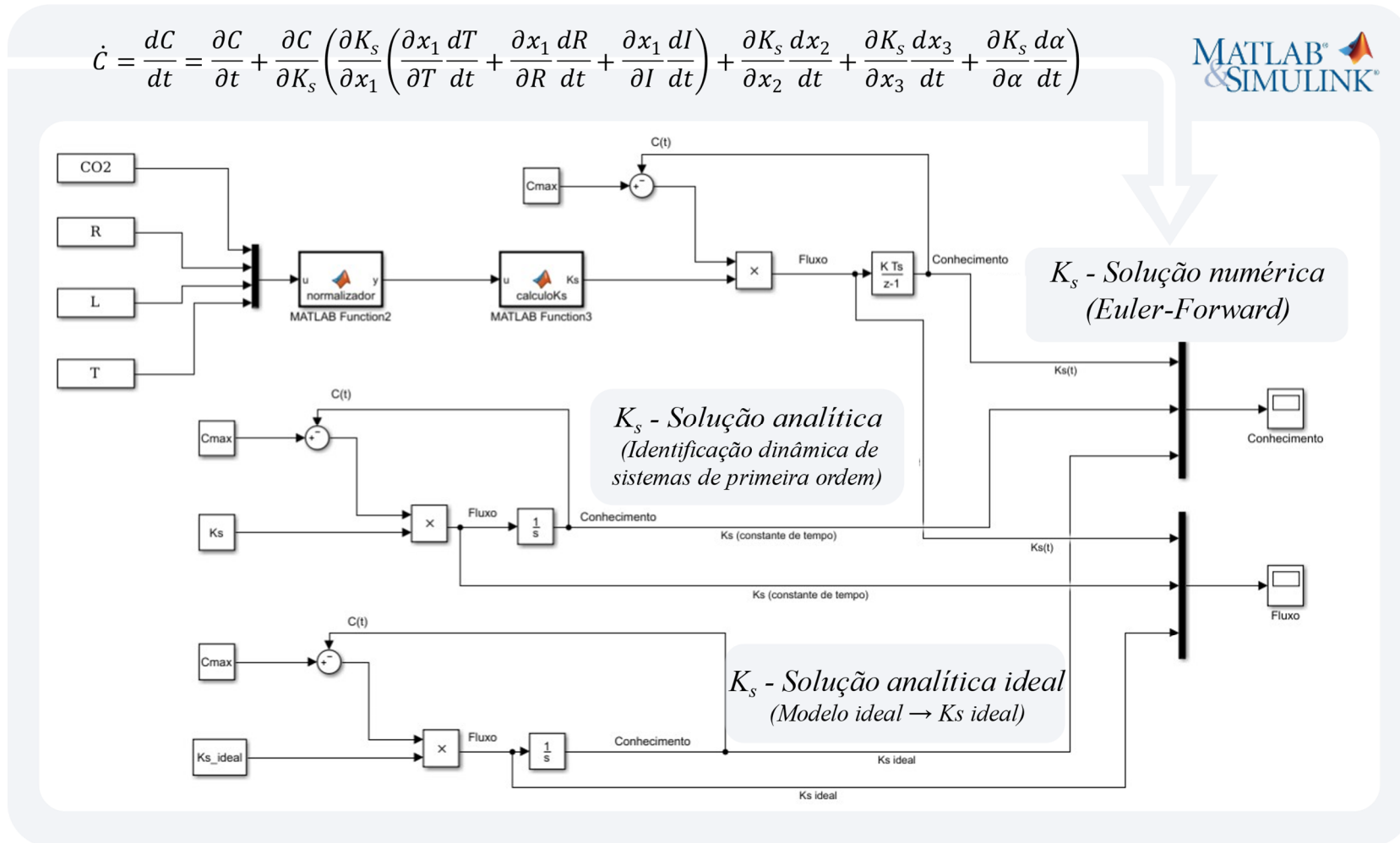
THIA, C. W., Chai, K. H., Baully, J., & Xin, Y. (2005). An exploratory study of the use of quality tools and techniques in product development. *TQM Magazine*, 17(5), 406-424.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, <<https://ppgegc.paginas.ufsc.br/areas-de-concentracao>> Acesso em: 02 fev. de 2021.

- VALAMIS, 2022. **The definitive guide: Learning Curve**. Disponível em: <https://www.valamis.com/hub/learning-curve#what-is-learning-curve>. Acesso em: 17 de fev. 2022.
- VARRICHIO, Pollyana de Carvalho; TOSTO, Giovana da Luz; VILLELA, Raphael Novaes. Novos modelos de financiamento à inovação tecnológica no brasil: um estudo sobre a EMBRAPPII nos projetos-pilotos do IPT. *Rev. de Empreendedorismo, Negócios e Inovação, S. B. do Campo*, v. 4, n. 2, 2019. p. 115-138.
- WANG, Chen. (2010). Study on the self-organization evolutionary process of cluster innovation based on the theory of knowledge flow. **First ACIS International Symposium on Cryptography, and Network Security, Data Mining and Knowledge Discovery, E-Commerce and Its Applications, and Embedded Systems**, 2010. pp. 253-257.
- WEICHBROTH, Paweł; BRODNICKI, Kamil. The lemniscate knowledge flow model. In: **2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)**. IEEE, 2017. p. 1217-1220.
- WRIGHT, Theodore P. Factors affecting the cost of airplanes. **Journal of the aeronautical sciences**, v. 3, n. 4, p. 122-128, 1936.
- YU, Y., Chen, Y., & Shi, Q. Strategy and Performance of Knowledge Flow. **International Series in Operations Research and Management Science**, 2018.
- ZHAO, Weidong; DAI, Weihui. Integrated modeling of business processes and knowledge flow based on RAD. (2008). **International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling**, 2008. pp. 48-53.
- ZHANG, Zhaoli; YANG, Zongkai; LIU, Qingtang. (2008). Modeling Knowledge Flow using Petri net. **International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling**, 2008. pp. 142-146.
- ZHANG, Wu-yi; et al. (2009). The evaluation and research of knowledge flow in supply chain based on fuzzy comprehensive analysis. **Second International Symposium on Intelligent Information Technology and Security Informatics**, 2009. pp. 81-86.
- ZHOU, Mi; HAN, Li-yan. Modeling knowledge flow with petri net. **Computer Engineering and Design**, v. 8, 2005.
- ZHUGE, H. A knowledge flow model for peer-to-peer team knowledge sharing and management. **Expert Systems with Applications**. Vol. 23, n. 1, p. 23-30, 2002.
- ZHUGE, Hai. Knowledge flow network planning and simulation. **Decision support systems**, v. 42, n. 2, p. 571-592, 2006.

APÊNDICE A – PROCEDIMENTO DE INTEGRAÇÃO DO FLUXO DE CONHECIMENTO

$$\dot{C} = \frac{dC}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial K_s} \left(\frac{\partial K_s}{\partial x_1} \left(\frac{\partial x_1}{\partial T} \frac{dT}{dt} + \frac{\partial x_1}{\partial R} \frac{dR}{dt} + \frac{\partial x_1}{\partial I} \frac{dI}{dt} \right) + \frac{\partial K_s}{\partial x_2} \frac{dx_2}{dt} + \frac{\partial K_s}{\partial x_3} \frac{dx_3}{dt} + \frac{\partial K_s}{\partial \alpha} \frac{d\alpha}{dt} \right)$$



APÊNDICE B – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

ENSAIO 1				
Operador: Alexsandro		Início:	14:09:13	
Arquivo: KFM01		Fim:	15:19:26	
Data: 08/12/2021		Taxa de amostragem:	1/s	
Nome da sala:	Sala 1			
Número de pessoas:	2			
Número de experimentos:	24			
Área da sala [m²]:	55			
Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	20,711	0,206	0,454
x_1^{trl}	[-]	0,831	0,003	0,053
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,700	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	73,541	46,000	84,000
ILUMINÂNCIA	Lx	205,317	121,000	213,000
CO ₂	ppm	825,565	773,000	914,000

ENSAIO 2

Operador: Alexsandro	Início:	14:28:39
Arquivo: KFM24	Fim:	17:38:52
Data: 26/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala: Sala 1*

Número de pessoas: 1

Número de experimentos: 24

Área da sala [m²]: 55

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	22,000	0,000	0,000
x_1^{trl}	[-]	Imprópria	Imprópria	Imprópria
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,700	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	98,862	85,000	113,000
ILUMINÂNCIA	Lx	523,297	515,000	526,000
CO ₂	ppm	617,626	591,000	744,000

ENSAIO 3

Operador: Alessandro	Início:	14:31:20
Arquivo: KFM02	Fim:	15:41:32
Data: 08/12/2021	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 2
Número de pessoas:	1
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	23,114	0,101	0,318
x_1^{trl}	[-]	0,929	0,002	0,040
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,600	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	54,545	49,898	7,064
ILUMINÂNCIA	Lx	254,988	104,094	10,203
CO ₂	ppm	796,102	218,884	14,795

ENSAIO 4

Operador: Alessandro	Início:	14:44:50
Arquivo: KFM03	Fim:	15:55:37
Data: 08/12/2021	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 3
Número de pessoas:	1
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	40

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	21,854	0,770	0,878
x_1^{trl}	[-]	0,907	0,003	0,055
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,600	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	62,065	46,000	80,000
ILUMINÂNCIA	Lx	294,610	218,000	319,000
CO ₂	ppm	508,423	495,000	520,000

ENSAIO 5

Operador: Alessandro	Início:	09:39:26
Arquivo: KFM15	Fim:	11:49:39
Data: 14/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala: Sala 3*

Número de pessoas: 1

Número de experimentos: 24

Área da sala [m²]: 40

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	20,874	0,135	0,368
x_1^{trl}	[-]	0,904	0,001	0,027
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,400	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	64,581	54,000	79,000
ILUMINÂNCIA	Lx	321,183	273,000	335,000
CO ₂	ppm	472,163	443,000	499,000

ENSAIO 6

Operador: Alessandro	Início:	14:08:24
Arquivo: KFM04	Fim:	16:19:01
Data: 08/12/2021	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 4
Número de pessoas:	1
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	19,142	0,123	0,350
x_1^{trl}	[-]	0,926	0,001	0,027
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	63,370	45,000	76,000
ILUMINÂNCIA	Lx	411,614	400,000	416,000
CO ₂	ppm	520,760	505,000	546,000

ENSAIO 7

Operador: Alessandro	Início:	09:57:45
Arquivo: KFM17	Fim:	12:07:58
Data: 14/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala: Sala 4*

Número de pessoas: 1

Número de experimentos: 24

Área da sala [m²]: 30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	20,159	0,167	0,408
x_1^{trl}	[-]	0,814	0,001	0,032
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	77,195	46,000	85,000
ILUMINÂNCIA	Lx	309,776	306,000	310,000
CO ₂	ppm	504,402	489,000	530,000

ENSAIO 8

Operador: Alessandro	Início:	14:39:49
Arquivo: KFM05	Fim:	18:14:19
Data: 08/12/2021	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 5
Número de pessoas:	3
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	22,000	0,000	0,000
x_1^{trl}	[-]	0,900	0,001	0,027
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	60,419	42,000	81,000
ILUMINÂNCIA	Lx	168,841	132,000	180,000
CO ₂	ppm	405,598	404,000	409,000

ENSAIO 9

Operador: Alessandro	Início:	14:22:18
Arquivo: KFM06	Fim:	17:32:51
Data: 10/12/2021	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 6
Número de pessoas:	2
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	20,984	0,016	0,127
x_1^{trl}	[-]	0,936	0,002	0,048
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	60,110	47,000	85,000
ILUMINÂNCIA	Lx	334,028	262,000	383,000
CO ₂	ppm	523,776	485,000	564,000

ENSAIO 10

Operador: Alessandro	Início:	14:41:27
Arquivo: KFM07	Fim:	17:51:40
Data: 10/12/2021	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 7
Número de pessoas:	3
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	21,000	0,000	0,000
x_1^{trl}	[-]	0,983	0,000	0,006
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,900	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	51,411	44,000	61,000
ILUMINÂNCIA	Lx	419,724	415,000	422,000
CO ₂	ppm	614,256	605,000	627,000

ENSAIO 11

Operador: Alessandro	Início:	14:11:59
Arquivo: KFM08	Fim:	17:22:12
Data: 13/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 8
Número de pessoas:	2
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	23,618	0,237	0,487
x_1^{trl}	[-]	0,763	0,000	0,017
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	78,126	72,000	84,000
ILUMINÂNCIA	Lx	340,886	298,000	347,000
CO ₂	ppm	844,565	818,000	937,000

ENSAIO 12

Operador: Alessandro	Início:	14:46:12
Arquivo: KFM09	Fim:	17:56:24
Data: 12/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 9
Número de pessoas:	1
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	20

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	18,000	0,000	0,000
x_1^{trl}	[-]	0,913	0,003	0,051
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	65,000	52,000	82,000
ILUMINÂNCIA	Lx	691,203	640,000	693,000
CO ₂	ppm	673,915	651,000	690,000

ENSAIO 13

Operador: Alessandro	Início:	14:50:32
Arquivo: KFM10	Fim:	18:00:14
Data: 13/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala: Sala 10

Número de pessoas: 1

Número de experimentos: 24

Área da sala [m²]: 25

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	21,248	0,187	0,433
x_1^{trl}	[-]	0,818	0,001	0,029
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	72,423	65,000	85,000
ILUMINÂNCIA	Lx	157,594	110,000	160,000
CO ₂	ppm	472,359	462,000	511,000

ENSAIO 14

Operador: Alessandro	Início:	14:32:04
Arquivo: KFM11	Fim:	17:42:17
Data: 13/05/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 11
Número de pessoas:	2
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	10

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	23,963	0,035	0,188
x_1^{trl}	[-]	0,901	0,002	0,045
x_2^{dc}	[-]	0,931	0,000	0,022
$x_3^{explícito}$	[-]	0,900	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	58,146	46,000	79,000
ILUMINÂNCIA	Lx	288,496	254,000	290,000
CO ₂	ppm	1275,646	1150,000	1414,000

ENSAIO 15

Operador: Alessandro	Início:	09:55:44
Arquivo: KFM12	Fim:	12:05:57
Data: 19/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 12
Número de pessoas:	3
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	20,833	0,139	0,373
x_1^{trl}	[-]	0,907	0,004	0,064
x_2^{dc}	[-]	0,920	0,000	0,011
$x_3^{explícito}$	[-]	0,900	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	63,976	47,000	84,000
ILUMINÂNCIA	Lx	347,114	322,000	367,000
CO ₂	ppm	1321,480	1273,000	1395,000

ENSAIO 16

Operador: Alessandro	Início:	08:24:50
Arquivo: KFM13	Fim:	12:35:02
Data: 19/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 13
Número de pessoas:	5
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	90

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	20,886	0,101	0,318
x_1^{trl}	[-]	0,863	0,000	0,021
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	66,622	59,000	73,000
ILUMINÂNCIA	Lx	148,955	144,000	157,000
CO ₂	ppm	653,065	620,000	763,000

ENSAIO 17

Operador: Alessandro	Início:	14:59:46
Arquivo: KFM14	Fim:	18:09:59
Data: 19/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 14
Número de pessoas:	5
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	90

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	21,000	0,000	0,000
x_1^{trl}	[-]	0,891	0,001	0,029
x_2^{dc}	[-]	0,865	0,000	0,005
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	65,972	56,000	82,000
ILUMINÂNCIA	Lx	226,976	224,000	228,000
CO ₂	ppm	1538,846	1513,000	1605,000

ENSAIO 18

Operador: Alessandro	Início:	14:11:40
Arquivo: KFM16	Fim:	17:21:53
Data: 19/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala: Sala 15

Número de pessoas: 5

Número de experimentos: 24

Área da sala [m²]: 30

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	20,992	0,008	0,090
x_1^{trl}	[-]	0,921	0,002	0,050
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,700	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	62,020	44,000	81,000
ILUMINÂNCIA	Lx	281,776	242,000	284,000
CO ₂	ppm	869,439	804,000	952,000

ENSAIO 19

Operador: Alessandro	Início:	14:45:13
Arquivo: KFM18	Fim:	18:55:26
Data: 19/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 16
Número de pessoas:	2
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	15

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	21,000	0,000	0,000
x_1^{trl}	[-]	0,881	0,003	0,055
x_2^{dc}	[-]	0,891	0,000	0,016
$x_3^{explícito}$	[-]	0,800	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	67,012	45,000	84,000
ILUMINÂNCIA	Lx	321,720	310,000	322,000
CO ₂	ppm	1437,423	1266,000	1510,000

ENSAIO 20

Operador: Alessandro	Início:	08:27:55
Arquivo: KFM19	Fim:	18:38:07
Data: 19/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 17
Número de pessoas:	4
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	70

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	21,033	0,032	0,178
x_1^{trl}	[-]	0,912	0,001	0,027
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	1,000	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	63,110	46,000	70,000
ILUMINÂNCIA	Lx	321,789	318,000	324,000
CO ₂	ppm	590,240	570,000	628,000

ENSAIO 21

Operador: Alessandro	Início:	09:21:49
Arquivo: KFM20	Fim:	11:32:02
Data: 25/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 18
Número de pessoas:	6
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	80

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	21,996	0,004	0,064
x_1^{trl}	[-]	0,969	0,000	0,001
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,900	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	50,337	45,000	55,000
ILUMINÂNCIA	Lx	490,341	338,000	530,000
CO ₂	ppm	614,159	585,000	743,000

ENSAIO 22

Operador: Alessandro	Início:	09:04:35
Arquivo: KFM21	Fim:	12:14:47
Data: 25/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 19
Número de pessoas:	6
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	80

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	21,467	0,250	0,500
x_1^{trl}	[-]	0,977	0,000	0,008
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,900	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	50,931	43,000	56,000
ILUMINÂNCIA	Lx	245,370	230,000	257,000
CO ₂	ppm	587,106	563,000	664,000

ENSAIO 23

Operador: Alessandro	Início:	14:10:06
Arquivo: KFM22	Fim:	18:20:06
Data: 25/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 20*
Número de pessoas:	3
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	55

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	22,675	0,220	0,469
x_1^{trl}	[-]	0,813	0,001	0,027
x_2^{dc}	[-]	0,866	0,000	0,005
$x_3^{explícito}$	[-]	0,700	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	71,525	49,000	80,000
ILUMINÂNCIA	Lx	180,133	171,000	182,000
CO ₂	ppm	1534,717	1500,000	1570,000

ENSAIO 24

Operador: Alessandro	Início:	14:27:17
Arquivo: KFM23	Fim:	18:37:30
Data: 25/04/2022	Taxa de amostragem:	1/s

Nome da sala:	Sala 20*
Número de pessoas:	3
Número de experimentos:	24
Área da sala [m²]:	55

Constantes	Unidade	Médias	Variância	DP
TEMPERATURA	°C	22,000	0,000	0,000
x_1^{trl}	[-]	0,857	0,001	0,023
x_2^{dc}	[-]	1,000	0,000	0,000
$x_3^{explícito}$	[-]	0,700	0,000	0,000
α	[-]	0,200	0,000	0,000
Constantes	Unidade	Médias	Mín.	Máx.
RUÍDO	dB	66,967	57,000	75,000
ILUMINÂNCIA	Lx	180,358	173,000	183,000
CO ₂	ppm	749,256	700,000	800,000

APÊNDICE C – FATORES A SEREM AVALIADOS DOS INDIVÍDUOS

Foram avaliados 13 fatores na Autoavaliação dos (receptores) e na Avaliação feita pelos gerentes de projeto da Unidade Embrapii (emissores) e 18 fatores na Avaliação de Desempenho em nível gerencial (emissores somente), descritos nos respectivos formulários em anexo, com pesos iguais para cada fator.

De acordo com o desempenho apresentado pelo indivíduo, o avaliador atribuirá uma pontuação de 1 (um) a 5 (cinco), conforme tabela abaixo.

Pontos	Crítérios
1	Não satisfatório: O desempenho do indivíduo raramente ou nunca atende aos requisitos desejados, em relação às atribuições do cargo.
2	Pouco satisfatório: O desempenho do indivíduo poucas vezes atende aos requisitos desejados, em relação às atribuições do cargo.
3	Satisfatório: O desempenho do indivíduo atende minimamente aos requisitos desejados, em relação às atribuições do cargo.
4	Muito satisfatório: O desempenho do indivíduo muitas vezes atende os requisitos desejados, em relação às atribuições do cargo.
5	Plenamente satisfatório: O desempenho do indivíduo sempre atende os requisitos desejados, em relação às atribuições do cargo.

O resultado final da Avaliação de Desempenho do indivíduo será classificado conforme a pontuação a seguir:

- i.* De 1,00 a 1,99 pontos, desempenho não satisfatório;
- ii.* De 2,00 a 2,99 pontos, desempenho pouco satisfatório;
- iii.* De 3,00 a 3,99 pontos, desempenho satisfatório;
- iv.* De 4,00 a 4,99 pontos, desempenho muito satisfatório;
- v.* De 5,00 pontos, desempenho plenamente satisfatório.

Posteriormente, o valor será normalizado de tal forma que atinja apenas valores entre 1 e 2. Sendo que 1 (um) passa a equivaler o valor de 5 (cinco) e 2 (dois) passará a equivaler o valor de 1 (um).

FATORES DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO (Receptor)**1. Conhecimento inicial do trabalho:**

Aplicação do conhecimento adquirido no desenvolvimento das atividades e domínio das atribuições que desenvolve.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Produtividade e qualidade:

Volume de trabalho apresentado em relação ao tempo gasto para executá-lo, bem como a qualidade com que o trabalho é realizado, tendo em vista a função do setor, os recursos disponíveis e a complexidade da atividade.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Responsabilidade:

Seriedade com que o trabalho é desenvolvido; confiança inspirada quando uma tarefa é solicitada.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. Disciplina:

Maneira pela qual observa, acata e se comporta em relação às normas estabelecidas pela instituição.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Assiduidade e pontualidade:

Comparecimento e permanência no local de trabalho. Observância do horário de trabalho.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. Trabalho em equipe:

Capacidade de colaborar com os colegas da equipe de trabalho na realização de tarefas conjuntas.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Interesse pela atualização profissional:

Interesse em se capacitar por iniciativa própria, atualizando-se e procurando aplicar os conhecimentos adquiridos em seu trabalho.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Organização no trabalho:

Maneira pela qual programa atividades e seleciona métodos para sua execução.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Zelo com materiais e equipamentos:

Cuidado com os bens da instituição, observando as condições de uso e conservação dos materiais e equipamentos.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. Criatividade e iniciativa:

Capacidade de produzir novas ideias para aplicar em situações de seu local de trabalho. Comportamento proativo de atuação, visando garantir a efetividade na execução dos trabalhos e buscando soluções adequadas por seus próprios meios.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. Adaptação às mudanças:

Capacidade de compreender e dar respostas às novas situações de trabalho. Adaptarse com agilidade às mudanças de metodologias, processos e tecnologias.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Relacionamento interpessoal:

Demonstração de atitude profissional e respeitosa no relacionamento com os usuários dos diversos níveis hierárquicos e culturais.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Comunicação:

Clareza e objetividade em compreender e transmitir instruções, ideias e informações pertinentes ao seu trabalho sempre que necessário.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

FATORES DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO (Emissor)**14. Capacidade de análise crítica:**

Habilidade para identificar e avaliar situações críticas, interpretando-as e buscando a opção mais adequada para solucioná-las.

1	2	3	4	5
o	o	o	o	o

15. Desenvolvimento da equipe:

Disposição em apoiar e oportunizar condições de participação e desenvolvimento profissional dos membros da equipe.

1	2	3	4	5
o	o	o	o	o

16. Tomada de decisão:

Toma decisões com segurança, coerência e imparcialidade para o bom desenvolvimento das atividades e motiva a participação do grupo em decisões que envolvem as atividades da unidade Embrapii.

1	2	3	4	5
o	o	o	o	o

17. Planejamento:

Promove a análise da realidade, levantando as possibilidades e limitações para proposição de ações futuras, estabelecendo planos de ação condizentes com os objetivos do setor.

1	2	3	4	5
o	o	o	o	o

18. Liderança:

Capacidade de administrar pessoas e equipes, de personalidades diferentes, e coordená-las, mobilizando-as para objetivos comuns.

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ANEXO A – CARTA DE LIBERAÇÃO DA UNIDADE EMBRAPPII**Carta de liberação para pesquisa de campo.**

Eu Prof. Cláudio Melo, titular do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, onde sou membro do corpo docente desde 1979. Venho através deste, autorizar o aluno de doutorado Alessandro dos Santos Silveira, portador da **matrícula nº 201700462** a realizar sua pesquisa de campo no Laboratórios de Pesquisa em Refrigeração e Termofísica, UNIDADE EMBRAPPII POLO.

Florianópolis, 19 de Outubro de 2018

Prof. Cláudio Melo