

Rafael Arie Neto

**MODELO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO DINÂMICO
DA AGREGAÇÃO DE SERVIÇOS NO CONTEXTO DE PSS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.

Florianópolis
2013

Ariente Neto, Rafael

Modelo para avaliar o comportamento dinâmico da agregação de serviços no contexto de PSS / Rafael Ariente Neto ; orientador, Fernando Antônio Forcellini - Florianópolis, SC, 2013.

230 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Modelo de Avaliação. 3. Diretrizes de Desenvolvimento. 4. Sistema Produto-Serviço. 5. Dinâmica de Sistemas. I. Forcellini, Fernando Antônio. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Rafael Arie Neto

MODELO PARA AVALIAR O COMPORTAMENTO DINÂMICO DA AGREGAÇÃO DE SERVIÇOS NO CONTEXTO DE PSS

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

Florianópolis, 15 de novembro de 2013.

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Phd. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo J. Rabelo, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha mãe
Luiza Maria,

*When I find myself in times of trouble
Mother Mary comes to me
Speaking words of wisdom
Let it be!*

The Beatles

Também é igualmente dedicado à
minha irmã Rita.

AGRADECIMENTOS

Creio que minha própria condição como ser-humano limite a capacidade de transcrever meus sentimentos, entre eles o de gratidão. Essas palavras permitem, ao máximo, oferecer um sinal de tal sentimento a essas pessoas que convivi neste período.

Agradeço imensamente ao professor orientador desta pesquisa Sr. Dr. Fernando Antônio Forcellini, pelo conhecimento repassado e, sobretudo, pelos valiosos conselhos e imensa compreensão e paciência.

Esse sentimento também se estende a todos os professores, tanto do programa PosMEC como também do programa PPGEP com os quais tive a honra e privilégio de aprender.

Sou imensamente grato aos meus colegas e companheiros de jornada, em especial aos integrantes da equipe GEPP.

Agradeço também aos amigos e familiares que de forma direta ou indireta contribuíram com essa etapa da jornada.

Agradeço ao amigo Fabrício pelas valiosas conversas acerca do pensamento sistêmico.

Sou grato também aos meus professores da UNOESC que me concederam sua confiança e indicação para viabilizar meu ingresso no programa de pós-graduação.

Agradeço em especial ao professor que considero um grande amigo e tenho enorme respeito e admiração Sr. Sergio Marquezi. Meras palavras jamais conseguiriam expressar tamanha gratidão.

Agradeço também à CNPq pelo apoio financeiro ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina e, conseqüentemente, à realização dessa pesquisa.

Também agradeço de antemão às pessoas que dedicarem o seu tempo para apreciar este trabalho. Que lhes seja útil!

O meu “muito obrigado” a todos!

RESUMO

O Sistema Produto-Serviço (PSS) é caracterizado pela agregação de valor ao produto por meio da associação de serviços. Nestes sistemas dinâmicos atuam estruturas de realimentação de informações, defasagens e não linearidades. Assim, condicionantes de desempenho específicas dessa agregação podem não ser contempladas pelo processo de desenvolvimento, ou mesmo, sua contemplação sem a avaliação do comportamento dinâmico pode desencadear eventos desfavoráveis no comportamento do sistema ao longo do tempo. Portanto, o objetivo geral dessa pesquisa foi definido como: “estabelecer diretrizes para a orientação dos esforços de desenvolvimento do produto pela avaliação do comportamento dinâmico da agregação de um módulo de serviço ao produto para o contexto do PSS”. Os dados da pesquisa são de natureza secundária e coletados junto à bibliografia especializada por meio de um processo estruturado. Com isso, o portfólio bibliográfico de referência construído conta com dezessete artigos. O instrumento de intervenção “Dinâmica dos Sistemas” foi empregado para tratamento desses dados. Três principais subsistemas foram englobados pelo estudo: produção, prestação e consumo. Na descrição do contexto do sistema foram explicitados e associados os principais fatores atuantes e evidenciados os ciclos de realimentação que conferem as não linearidades do comportamento do sistema. Esses ciclos consistem em: controle da produção, controle da prestação, controle da qualidade do produto, controle da qualidade do serviço, perdas em processo e perdas por espera. A estrutura do sistema foi definida no modelo proposto, bem como inseridas as variáveis e permitida a integrar matematicamente das constantes e variáveis do modelo. O impacto de condições desfavoráveis no comportamento do modelo foi estimado no processo de simulação estimou. Com isso quatro diretrizes básicas para a atividade de desenvolvimento do produto foram apresentadas como proposta para resolução do problema de pesquisa. Essas consistem em: fortalecer as ações voltadas à satisfação do consumidor, fortalecer a integração de ações direcionadas à facilidade de obtenção do valor, fortalecer a integração de ações direcionadas à facilidade de consumo do valor, e fortalecer a integração de ações direcionadas ao controle e operacionalização da produção e da agregação de valor.

Palavras-chave: Modelo de Avaliação, Diretrizes de Desenvolvimento, Sistema Produto-Serviço, Dinâmica de Sistemas.

ABSTRACT

The Product-Service System (PSS) is characterized by adding value to the product by association services. In these dynamics systems acting feedback information structures, time lags and nonlinearities. So specific performance conditions this association cannot be addressed by the development process or the contemplation without the evaluating dynamic behavior can trigger unfavorable events in system behavior over time. Therefore, this research aimed to "establish guidelines for orientation of product development efforts by evaluation of the dynamic performance of the aggregation a service module to the product into PSS context." The survey data are secondary in nature and collected in specialized literature through a structured process. With this, the bibliographic reference portfolio has built seventeen articles. The intervention instrument "Dynamic Systems" was used for processing. Three main subsystems were comprised by study: production, service provision and consumption. In describing the system context were explained and associated the main factors and highlighted the feedback loops that give the nonlinearities of the system behavior. This feedback loops are: production control, service provision control, control of product quality, control of service quality, process losses and waiting losses. The system structure was defined in proposed model, as well as entered the variables and enabled the mathematically integrating of constants and variables. The impact of unfavorable conditions in model behavior was estimated with simulation process. Thus four basic guidelines for the development activity of the product were presented as a proposed for solving the research problem. These include: strengthening the integration of actions aimed at consumer satisfaction, strengthen the integration of actions directed to the ease of obtaining the value, strengthen the integration of actions aimed at ease of consumption value, and strengthen the integration of actions aimed at controlling and operation of production and value addition.

Keywords: Evaluation Model, Development Guidelines, Product-Service System, System Dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Panoramas: cenário convencional e cenário com o PSS	27
Figura 2 – Processo decisório (a) sem aprendizagem e (b) apoiado pela DS.....	35
Figura 3 – Estrutura da pesquisa	42
Figura 4 – Processo para revisão da bibliografia	45
Figura 5 – Paradigma da Dinâmica dos Sistemas	47
Figura 6 – Estruturação da análise pela Dinâmica de Sistemas	48
Figura 7 – Representação gráfica do “ciclo de realimentação positivo”	52
Figura 8 – Ciclo de realimentação negativo.....	52
Figura 9 – Linguagem de Fluxo e Estoques para a modelagem estrutural.....	55
Figura 10 – Forças competitivas	58
Figura 11 – Classificação do PSS	66
Figura 12 – Estrutura de criação de valor	70
Figura 13 – Etapas do projeto do PSS conforme a metodologia MePSS.....	74
Figura 14 – Resultados do processo de revisão da bibliografia	80
Figura 15 – Grau de relevância dos periódicos do portfólio bibliográfico.....	83
Figura 16 – Reconhecimento científico dos artigos integrantes do portfólio bibliográfico.....	84
Figura 17 – Desdobramento do ciclo de vida do produto conforme o ponto de vista dos stakeholders	88
Figura 18 – Organização do PSS	91
Figura 19 – Influência do conteúdo e dos canais de serviço na satisfação do receptor	94
Figura 20 – Processo de transformação da informação no desenvolvimento do PSS.	95
Figura 21 – A dinâmica do PSS nos níveis sistêmicos.	97
Figura 22 – Subsistemas e interações	98
Figura 23 – Estrutura de referência para a condução da modelagem.....	106
Figura 24 – Ciclo de realimentação “controle da produção”	108
Figura 25 – Ciclo de realimentação “controle da prestação”	110
Figura 26 – Diagrama de causalidade (descrição do contexto).....	114
Figura 27 – Diagrama de fluxo e estoque do subsistema de produção	119
Figura 28 – Diagrama de fluxo e estoque do subsistema de prestação	121
Figura 29 – Diagrama de fluxo e estoque referente à qualidade percebida (bem tangível).....	123
Figura 30 – Diagrama de fluxo e estoque referente à qualidade percebida (serviços)	123
Figura 31 – Teste de comportamento: “estoque desejado” e “artefatos disponíveis”	143
Figura 32 – Teste de comportamento: “taxa de conclusão de produção” e “taxa de conclusão de produção desejada”.....	144
Figura 33 – Teste de comportamento: “taxa de início de produção” e “taxa de entrega”.....	144

Figura 34 – Teste de comportamento: “consumidores em espera desejados” e “consumidores em espera”	147
Figura 35 – Teste de comportamento: “taxa de processamento desejada” e “taxa de processamento”	147
Figura 36 – Teste de comportamento: “taxa de adesão” e “taxa de processamento”	148
Figura 37 – Teste de comportamento: percepção da qualidade (bem tangível)	149
Figura 38 – Teste de comportamento: percepção da qualidade (serviço)	150
Figura 39 – Teste de comportamento integrado: artefatos disponíveis	151
Figura 40 – Teste de comportamento integrado: consumidores em processo ..	151
Figura 41 – Teste de condições extremas: subsistema de produção (estoques)	153
Figura 42 – Teste de condições extremas: subsistema de produção (taxas)	153
Figura 43 – Teste de condições extremas: subsistema de prestação (estoques)	154
Figura 44 – Teste de condições extremas: subsistema de prestação (taxas)	154
Figura 45 – Ilustração pictórica do caso de referência.....	158
Figura 46 – Representação genérica de um sistema	160
Figura 47 – Esboço do desempenho dinâmico da entrega de valor	163
Figura 48 – Condição favorável: “trabalho em processo”	165
Figura 49 – Condição favorável: “artefatos disponíveis”	165
Figura 50 – Condição favorável: taxas (subsistema de produção).....	166
Figura 51 – Condição favorável: “consumidores em processo”	167
Figura 52 – Condição favorável: “consumidores processados”	168
Figura 53 – Condição desfavorável (bem tangível): “expectativa e percepção da qualidade”	169
Figura 54 – Condição desfavorável (bem tangível): “trabalho em processo” ..	170
Figura 55 – Condição desfavorável (bem tangível): “artefatos disponíveis” ..	171
Figura 56 – Condição desfavorável (bem tangível): “consumidores em processo”	172
Figura 57 – Condição desfavorável (bem tangível): “consumidores processados”	173
Figura 58 – Condição desfavorável (bem tangível): “trabalho em processo” para $TeC=2sem.$	174
Figura 59 – Condição desfavorável (bem tangível): “trabalho em processo” para $TeC=1sem.$	175
Figura 60 – Condição desfavorável (serviço): “expectativa e percepção da qualidade”	176
Figura 61 – Condição desfavorável (serviço): “artefatos disponíveis”	177
Figura 62 – Condição desfavorável: “consumidores em espera”	178
Figura 63 – Condição desfavorável (serviço): “consumidores em processo” ..	179
Figura 64 – Condição desfavorável (serviço): “consumidores processados” ..	180
Figura 65 – Condição desfavorável (serviço): ação das “perdas por espera” ..	181

Figura 66 – Condição desfavorável (serviço): “consumidores processados” com e sem perdas.....	181
Figura 67 – Condição desfavorável (serviço): “consumidores processados” com e sem desistência	182
Figura 68 – Condição desfavorável (serviço): Intervenção TP.....	184

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Trabalhos referentes ao tema PSS e suas particularidades	32
Quadro 2 – Pesquisas que abordam o PSS utilizando a Dinâmica de Sistemas	33
Quadro 3 – Relação de técnicas e ferramentas utilizadas na modelagem PSS.....	38
Quadro 4 – Relações de causalidade.....	51
Quadro 5 – Trabalhos de referência que utilizam a DS no sistema produtivo	60
Quadro 6 – Definições do conceito de Sistema Produto-Serviço	61
Quadro 7 – Classificação de iniciativas PSS na indústria automotiva	67
Quadro 8 – Ferramentas de apoio ao desenvolvimento do PSS.....	75
Quadro 9 – Termos de pesquisa.....	77
Quadro 10 – Palavras-chave de pesquisa.....	78
Quadro 11 – Contribuição das bases de dados para o banco de artigos brutos	79
Quadro 12 – Portfólio bibliográfico de base para a pesquisa.....	81
Quadro 13 – Principais influências na interação entre os subsistemas	102
Quadro 14 – Definição das condicionantes para o contexto descrito.....	137
Quadro 15 – Modelos de comportamentos gráficos para referência.....	140
Quadro 16 – Classificação dos principais fatores do modelo	161

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.2 FORMALIZAÇÃO DO PROBLEMA	28
1.3 OBJETIVO GERAL	29
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
1.5 JUSTIFICATIVAS	31
1.6 CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS.....	34
1.7 ESTRUTURA DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISA.....	36
2 MÉTODOS	37
2.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	37
2.2 JUSTIFICATIVA PARA ADOÇÃO DO INSTRUMENTO DE INTERVENÇÃO “DINÂMICA DE SISTEMAS”	38
2.3 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	41
2.4 PROCESSO DE REVISÃO DA LITERATURA	42
2.4.1 Definição das palavras-chave.....	42
2.4.2 Definição das bases de dados e aquisição do banco de artigos brutos	43
2.4.3 Filtragem do banco de artigos	43
2.5 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	44
2.6 INSTRUMENTO DE INTERVENÇÃO (DINÂMICA DE SISTEMAS).....	46
2.7 ESTRUTURAÇÃO DA METODOLOGIA	47
2.7.1.1 Estágio 1 – Reconhecimento do problema.....	49
2.7.1.2 Estágio 2 – Compreensão do problema e descrição do sistema (modelagem qualitativa)	50
2.7.1.3 Estágio 3 – Análise qualitativa.....	53
2.7.1.4 Estágio 4 – Modelagem para simulação.....	54
2.7.2 Testes e validação do modelo	55
2.7.3 Programa de simulação computacional Vensim®	56
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	57
3.1 A GESTÃO CONFORME A PERSPECTIVA SISTÊMICA.....	57
3.1.1 Trabalhos de referência.....	59
3.2 SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO (VISÃO GERAL)	61
3.2.1 Elementos do PSS	63
3.2.1.1 Bem tangível.....	63
3.2.1.2 Serviço.....	64
3.2.1.3 Rede de atores.....	65
3.2.1.4 Infraestrutura.....	65
3.2.2 Classificação do PSS.....	65
3.2.3 Valor no PSS	69
3.2.4 Metodologias e ferramentas para PSS	71
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PSS PARA O ESTUDO (FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ESPECÍFICA)	76

3.3.1 Revisão da literatura e análise bibliométrica	76
3.3.1.1 Palavras-chave definidas	76
3.3.1.2 Portfólio bibliográfico	79
3.3.2 Análise bibliométrica.....	82
3.3.3 O ciclo de vida do produto no contexto do PSS.....	85
3.3.4 Organização do PSS	89
3.3.5 Associação entre os elementos de bem tangível e serviço	92
3.3.6 Dinâmica do PSS.....	96
3.3.7 Subsistemas e principais interações	97
3.3.7.1 Subsistema de produção	99
3.3.7.2 Subsistema de prestação	100
3.3.7.3 Subsistema de consumo.....	101
3.3.7.4 Interações entre os subsistemas	101
4 CONSTRUÇÃO DO MODELO	105
4.1 CONDUÇÃO DA MODELAGEM.....	105
4.2 MODELAGEM CONCEITUAL.....	107
4.2.1 Ciclo de realimentação “controle da produção”	107
4.2.2 Ciclo de realimentação “controle da prestação”	109
4.2.3 Descrição conceitual	111
4.2.4 Defasagens do sistema	116
4.3 MODELAGEM ESTRUTURAL	117
4.3.1 Fluxos e estoques no subsistema de produção	117
4.3.2 Fluxos e estoques no subsistema de prestação.....	120
4.3.3 Fluxos e estoques no subsistema de consumo	122
4.4 MODELAGEM MATEMÁTICA	124
4.4.1 Equações referentes ao subsistema de produção.....	125
4.4.2 Equações referentes ao subsistema de prestação	130
4.4.3 Equações referentes ao subsistema de consumo.....	133
4.5 PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES DO MODELO.....	136
5 VALIDAÇÃO DO MODELO	139
5.1 MODELOS GRÁFICOS DE REFERÊNCIA	139
5.2 TESTES DO MODELO	141
5.2.1 Teste de verificação de estrutura.....	141
5.2.2 Teste de verificação de parâmetros.....	141
5.2.3 Testes de comportamento.....	142
5.2.3.1 Teste de reprodução de comportamento	142
5.2.3.2 Teste de condições extremas.....	152
5.2.3.3 Teste de robustez	155
5.2.3.4 Teste de erro de estado estacionário	155
5.2.3.5 Teste de erro em regime permanente	156
6 Projeção de cenários e análise.....	157
6.1 CASO DE REFERÊNCIA.....	157
6.2 CONSIDERAÇÕES PARA A SIMULAÇÃO	159
6.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	162
6.3.1 Condição favorável	164

6.3.2	Condição desfavorável (bem tangível)	168
6.3.3	Condição desfavorável (serviço)	175
6.4	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO	184
6.5	Diretrizes e recomendações	192
7	Conclusões.....	197
7.1	CONTEXTO E MOTIVAÇÕES DA PESQUISA.....	197
7.2	RESULTADOS OBTIDOS	198
7.3	CONCLUSÕES GERAIS.....	202
7.4	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	203
7.5	Recomendações para trabalhos futuros.....	203
	APÊNDICE A - Estrutura do modelo	217
	APÊNDICE B - Variáveis e equações do modelo	219
	APÊNDICE C – Constantes do modelo.....	223
	APÊNDICE D - Equações na linguagem usada pelo Vensim PLE®	225

1 INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo insere o leitor nas informações iniciais de desenvolvimento desta pesquisa. Inicia com a contextualização do cenário em que foi desenvolvida, inicialmente enfatizando a atual situação nacional seguida da consideração de um cenário mais amplo e geral. Esta contextualização é conduzida de forma a apresentar o problema abordado. Da contextualização é formalizado o objetivo geral na qualidade de uma proposta de resolução deste problema. Os objetivos específicos que seguem expõem a condução da pesquisa para o atendimento do objetivo geral. São apresentadas as justificativas para a pesquisa e são também salientadas as contribuições esperadas. Encerrando o capítulo é apresentada a estruturação da dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O mercado brasileiro, entre 2011 e 2012, teve a participação da indústria de transformação no PIB nacional reduzida de 23,5% para 22,3%¹. São vários os aspectos apontados como fatores contribuintes para esta redução. Dentre estes está a produção em massa (grandes quantidades em um tempo reduzido) que propicia, por um lado, a redução dos custos de produção devido às economias de escala, entre outros atrativos. No entanto, por outro lado a produção em massa conduz ao estabelecimento de uma concorrência baseada em preços, impondo tal condição aos demais fabricantes, algumas vezes incapazes de acompanhá-la. Essa concorrência ainda é intensificada frente ao custo consideravelmente menor da mão-de-obra em determinados países, além do fenômeno da “comoditização dos bens”².

Frente a esta perspectiva são apontados como alguns dos desafios a serem enfrentadas no mercado interno brasileiro pelas indústrias de transformação: a intensificação da sua progressão tecnológica, o enfrentamento da acirrada concorrência internacional nos mercados domésticos e externos, o combate aos efeitos da “guerra cambial” e das

¹ Valores calculados a partir das contas nacionais trimestrais considerando o “valor adicionado das atividades” (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [2013]).

² A comoditização dos bens refere-se à diminuição de seus ciclos de vida e sua rápida generalização provocada pela diminuição do tempo para o seu lançamento no mercado e/ou a impossibilidade de lançamento de bens inovadores (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009).

incertezas do cenário internacional (BRASIL MAIOR, [2011]). Mas ainda, como reflexo das demandas sustentáveis é cada vez mais emergente da sociedade civil a cobrança às empresas por contribuições significativas no tratamento de questões sustentáveis (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). Isto pode, inclusive, ser determinante para a aceitação da empresa por determinados *stakeholders*³ comprometidos com tais questões (BAI; SARKIS, 2010; DALÉ; ROLDAN; HANSEN, 2011). Juntamente, regulamentações como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (ainda referente ao cenário brasileiro) tornam muitas demandas sustentáveis como um requisito obrigatório e, como tal, determinante para a atuação das organizações no mercado.

Nesse sentido e conforme a abordagem sistêmica⁴ a unidade de negócio é influenciada pelos seus ambientes mediatos e imediatos (SENGE; STERMAN, 1992; BUI; BARUCH, 2010) e necessita adaptar-se a estes ambientes para garantir sua “sobrevivência”. As organizações constituem, nesta ótica, sistemas abertos⁵ apresentando as características de adaptabilidade, controle ou regulação, e aprendizagem. A adaptabilidade atribui ao sistema a propriedade de ajustar-se a evolução do meio. Tal propriedade é viabilizada justamente em função do sistema aberto ser sensível ao seu ambiente, identificando sua evolução e respondendo a esta por meio de sua própria evolução, a adaptação. O controle ou regulação representam os meios pelos quais os organismos viabilizam sua adaptabilidade. O controle é responsável pela identificação da amplitude das mudanças do meio e coordenar a amplitude das mudanças necessárias para prover a adaptabilidade; é a forma de definir o quanto mudar. Por fim, a aprendizagem é a

³ Termo que se refere a qualquer grupo ou indivíduo com interesse (influenciando ou sendo influenciado) pelas atividades ou produtos do sistema (JACKSON, 2007).

⁴ Tal abordagem foi adotada pelas disciplinas gerenciais que transferiram para o estudo das organizações as considerações dadas pelas publicações de Bertalanffy na década de 1950 (JACKSON, 2007).

⁵ Pelas considerações relativas aos limites que separam os sistemas do seu meio, as constatações de hierarquias e capacidade de assumir certo grau de autonomia, se estabeleceu um melhor entendimento sobre as características dos sistemas em função de uma abordagem diferenciando sistemas fechados e sistemas abertos (VON BERTALANFFY, 2008). Em analogia com o organismo biológico, um sistema aberto estabelece relações com seu meio recebendo e respondendo a estímulos de forma a adaptar-se para manter sua própria existência. Quando, em contra partida, um sistema fechado é considerado como isolado do seu meio.

capacidade de cumular os efeitos passados da adaptação. É possível observar adaptação sem aprendizagem, porém, esta se apresenta de forma mais lenta comprometendo a sobrevivência do organismo. Ou seja, os sistemas abertos são caracterizados pelo dinamismo e complexidade inerente ao seu comportamento.

Contudo, as inovações atribuídas aos produtos⁶ das empresas manufatureiras buscando a continuidade da sua atuação e, juntamente, contribuindo ao desenvolvimento sustentável podem ser classificadas no sentido de uma melhoria tecnológica incremental (VEZZOLI, 2007). Assim, nessa classificação tem-se: o melhoramento ou reprojeto do produto ou do processo, a inovação funcional e a inovação no sistema (VEZZOLI, 2007). Quanto ao melhoramento ou reprojeto do produto a área de desenvolvimento, no que se refere aos métodos e ferramentas, tem-se buscado agregar práticas de desenvolvimento que atendam as exigências ambientais do desenvolvimento sustentável. Um exemplo consiste no emprego de ferramentas de projeto como o DFE (*Design For Environment*). Também se prestam a tal objetivo o *Design For Upgrade* que visa “fechar” o ciclo de vida dos produtos, aproveitando-os ao final de sua vida útil, e o *Modular Design* no qual o produto é concebido sendo constituído por componentes menores, podendo alguns destes, ou todos, serem empregados em diferentes sistemas na obtenção de múltiplas funcionalidades. Referente aos processos, as abordagens de avaliação ou análise do ciclo de vida auxiliam a identificar as possibilidades de intervenção ao longo do ciclo de vida e as opções de melhora neste. Buscam-se processos produtivos mais limpos, melhores tecnologias de processamentos de resíduos e a própria evolução da tecnologia empregada como maneira de reduzir a energia consumida. Já a inovação funcional envolve a exploração de formas novas e inovadoras para fornecer a funcionalidade requerida. Nesta exploração busca-se a realização da função desejada com uma configuração ou uma

⁶ De uma forma ampla e genérica um produto pode ser considerado como “um bem; um serviço ou uma ideia, que um consumidor adquire para satisfazer uma necessidade ou um desejo” (NICKELS; WOOD, 1999). Segundo esta definição o produto é visto como o bem tangível ou intangível (sendo que o serviço consistiria no produto do desempenho de uma ou mais atividades de prestação, e, da mesma forma, a ideia consistiria no produto de uma ou mais atividades intelectuais) comercializável que atende necessidades específicas. Então, por rigor semântico nos contextos não implícitos em que o termo “produto” se referir aos bens manufaturados esses são referenciados como “bens tangíveis” ou artefatos físicos.

tecnologia menos exigente em termos de consumo de materiais, energia para funcionamento, entre outros.

Estas formas de inovação, no entanto, objetivam atingir padrões sustentáveis melhorando o desempenho ambiental por unidade de artefatos físicos, não assegurando, porém, a redução do impacto ambiental no caso de um crescente consumo global ou de padrões de uso mais intensos (WILLIAMS, 2007). Para tal, a inovação no sistema, considerando o sistema amplamente pode implicar em mudanças significativas na dinâmica do mercado. Dessa forma, pela inovação no sistema os padrões socioculturais que se refletem nos sistemas de produção e consumo atuais podem ser conduzidos a uma dinâmica coerente ao desenvolvimento sustentável e que, juntamente, sustente a economia. Um dos meios para viabilizar a inovação no sistema está no Sistema Produto-Serviço (*Product-Service System* ou PSS).

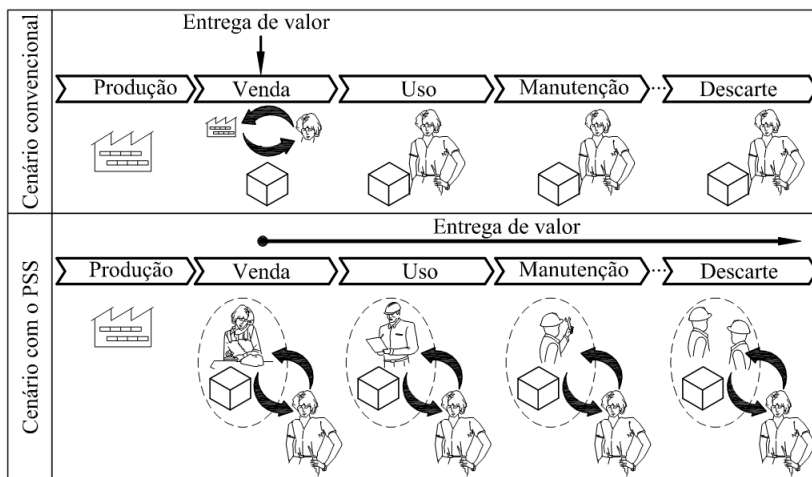
O PSS consiste em um conjunto comercial de produtos (como bens tangíveis) e serviços, rede de atores e infraestrutura de apoio objetivando a competitividade, a satisfação das necessidades dos clientes e um menor impacto ambiental (GOEDKOOPT et al., 1999; MONT, 2001). Diferentemente, por exemplo, da venda convencional de bens em que a entrega de valor⁷ se concentra na sua venda/compra, o PSS sob a forma de um sistema⁸ estende essa entrega de valor ao longo do ciclo de vida por meio da agregação de serviços. A Figura 1 ilustra essas duas perspectivas em um ciclo de vida representado segundo o ponto de vista do fabricante. No cenário convencional após a aquisição do bem, quando ocorre o contato do consumidor com o fabricante, o consumidor assume a posse de tal. Assim, torna-se responsável por este nas etapas subsequente como o “uso”, a “manutenção”, e até o seu “descarte”. Já em um cenário com PSS o bem tangível surge agregado a serviços (parte intangível do valor entregue). Esses serviços são orientados ao ciclo de vida de forma a complementar determinadas etapas. A viabilização do PSS, dessa forma, engloba a atuação de *stakeholders* específicos responsáveis pela prestação dos serviços. Além destes, como também é representado na Figura 1, o consumidor final possui um papel extremamente relevante para o sucesso da

⁷ O valor, genericamente, refere-se a utilidade ou benefícios atribuídos a um bem tangível (ZEITHAML, 1988) ou aos benefícios atribuídos a um serviço (SIRDESHMUKH; SINGH; SABOL, 2002). Uma maior explanação sobre o “valor” é conduzida na Seção 3.2.3.

⁸ Simplificadamente, um sistema é um todo complexo, cujo funcionamento depende de suas partes e das interações entre elas (JACKSON, 2007).

implementação de um PSS. Como a prestação dos serviços, muitas vezes, ocorre em contato com o consumidor, muitas questões gerenciais a serem observadas surgem deste contato. Além de que, muitas vezes, a mudança de um cenário baseada na venda de bens isoladamente para uma nova dinâmica somente é possível se acompanhada da mudança dos hábitos de consumo (WONG, 2004).

Figura 1 - Panoramas: cenário convencional e cenário com o PSS



Fonte: o autor.

O Sistema Produto-Serviço é visto com potencial para prover tanto à competitividade almejada pelos fabricantes ao estender o valor entregue em relação à estratégia convencional, sobretudo em momentos de crise, quanto às questões sustentáveis demandadas a estes (TUKKER, 2004; BIANCHI et al., 2009; KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). A constituição e a dinâmica do PSS proporciona a diversificação do seu valor oferecido, podendo assim atender a necessidades específicas dos consumidores. Ademais, o diferencia da estratégia convencional evitando a constante redução do custo de produção e dos problemas que acarretam desta redução. Também, a associação entre bens tangíveis e serviços com suporte dos demais elementos possibilita ao PSS o atendimento das necessidades dos consumidores oferecendo-lhes a funcionalidade sem, necessariamente, atribuir-lhes a posse de tais bens (GOEDKOOP et al., 1999; EHRENFELD, 2001; MONT, 2001; MANZINI; VEZOLLI, 2003). Essa característica (a desmaterialização)

confere ao PSS a possibilidade de desconexão entre as atividades econômicas e os impactos ambientais (fundamentada na mudança de hábitos de consumo).

1.2 FORMALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Apesar dos benefícios atribuídos ao Sistema Produto-Serviço com o ingresso em um empreendimento PSS a responsabilidade do fabricante estende-se para além da venda do produto, abrangendo todo o ciclo de vida (PHUMBUA; TIAHJONO, 2011). Isto devido à influência dos demais elementos que compõem o sistema, inclusive dos *stakeholders* nos quais também se enquadram os consumidores finais e sua percepção do valor entregue pelo PSS, tal como, das condições do mercado em que se insere. Consequentemente os fabricantes assumem um elevado grau de risco ao integrar um empreendimento PSS, visto que o risco do investimento e da capacidade no PSS é superior ao dos negócios tradicionais (MANZINI; VEZOLLI, 2002; TUKKER; TISCHNER, 2006). Isto ainda se acentua pelo PSS se caracterizar como um sistema dinâmico⁹ no qual atuam estruturas de realimentação de informações, defasagens e não linearidades. A configuração de um sistema dinâmico sem o entendimento do seu comportamento está sujeita ao desencadeamento de eventos desfavoráveis em partes remotas do sistema (STERMAN, 2000).

Dessa maneira os processos de desenvolvimento do produto, sendo este integrante de um PSS (um elemento deste sistema), precisam considerar as influências das características e dinâmicas do ciclo de vida em que se insere e dos serviços associados a este produto (AURICH et al., 2009). No âmbito do projeto do bem tangível (ainda em suas fases iniciais) as metodologias, métodos e ferramentas com as quais os fabricantes contam podem intervir em aspectos específicos do ciclo de vida; podendo, dessa forma, induzir o sistema para um comportamento desejável. Nesta perspectiva se enquadram, por exemplo, as abordagens DFX (*Design For X*¹⁰). Essas abordagens levam a decisões que se

⁹ Quando um sistema apresenta suas saídas atuais em dependência das entradas antecedentes é denominado de sistema dinâmico; já quando as saídas atuais dependem unicamente das entradas atuais é denominado de sistema estático (OGATA, 1998).

¹⁰ O “X” representa o enquadramento específico (dos princípios) desta abordagem. Cada orientação (X) aborda particularidades que são devidas a um determinado fator (relacionado ao ciclo de vida) que afeta as características de

refletem na funcionalidade, geometria e propriedades do artefato influenciando, assim, no seu desempenho (ROZENFELD et al., 2006). No entanto, visto o exposto acerca das características de complexidade e dinamismo do PSS, uma condição fundamental para o desenvolvimento de um produto adequado ao sistema que integra consiste na compreensão do comportamento ao longo do tempo do sistema. Ou seja, essa compreensão é fundamental para a indução de um comportamento desejável ao sistema pela intervenção no projeto do produto.

Sendo assim, o problema contextualizado pode ser sintetizado e definido como: **o comportamento do Sistema Produto-Serviço é influenciado por fatores dinâmicos e caracterizado por realimentação de informações, defasagens e não linearidades. Isso faz com que as influências dinâmicas da agregação de valor aos bens tangíveis por serviços sejam de difícil compreensão. Assim condicionantes de desempenho específicas dessa agregação podem não ser contempladas pelo processo de desenvolvimento do produto, ou mesmo, sua contemplação sem a avaliação do comportamento dinâmico pode desencadear eventos desfavoráveis para tal comportamento ao longo do tempo.**

1.3 OBJETIVO GERAL

A determinação de uma solução para um problema técnico engloba o atendimento aos objetivos e às condicionantes restritivas (PAHL et al., 2005). Nesse sentido, propriamente o atendimento à função técnica é um dos objetivos da solução, porém ainda acompanhado de objetivos de natureza financeira, estética, ambiental, de segurança, entre outras possíveis considerações. Esses outros objetivos podem ter origem em questões estratégicas, éticas, ou mesmo por imposição de normas, como no caso de normas de segurança.

Contudo, além da função, funcionalidade, configuração e de suas inter-relações a solução técnica ainda tem que satisfazer as condicionantes (PAHL et al., 2005). Essas condicionantes consistem nas

um produto. Como exemplo de orientações do DFX podem ser citados o DFM (*Design for Manufacture*) cujos princípios concentram-se no âmbito da fabricação (projeto para a manufatura), o DFA (*Design for Assembly*) concentrado nos aspectos relacionados à montagem (projeto para a montagem), o DFS (*Design for Service*) voltado aos serviços (projeto para os serviços) entre outros. Mais informações gerais sobre as abordagens DFX podem ser obtidas com Huang (1996).

diversas imposições associadas à obtenção dos objetivos da solução e, dessa maneira, referente a esses objetivos. De uma maneira geral, as condicionantes são consideradas ao longo do processo de projeto, em coerência com o grau de materialização exigido em cada etapa desse processo (PAHL et al., 2005). Isto se estende desde as condições que influenciam o gerenciamento do projeto até o estabelecimento de grandezas construtivas. Podem, portanto, ter diferentes origens como as limitações do processo de desenvolvimento ou produtivo, a disponibilidade para distribuição e demais questões logísticas, dentre outras. Nessa pesquisa em específico são abordadas as principais condicionantes referentes ao comportamento dinâmico da agregação de um módulo de serviço ao bem tangível em um contexto definido.

Dentro dos princípios metódicos de projeto e realização de tarefas as “diretrizes” auxiliam a dar ênfase às respectivas condicionantes e, principalmente, alicerçam as regras básicas (PAHL et al., 2005). Nesse contexto as diretrizes ajudam na aplicação dos conhecimentos técnicos, podendo originar requisitos voltados tanto para o controle quanto para a melhora ou estabelecimento de características particulares de um produto. Portanto, como proposta para resolução do problema contextualizado, o objetivo geral desta pesquisa consiste em: **estabelecer diretrizes para a orientação dos esforços de desenvolvimento do produto pela avaliação do comportamento dinâmico da agregação de um módulo de serviço ao bem tangível para o contexto do PSS.**

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Buscando atender ao objetivo geral são estabelecidos objetivos específicos intermediários. Esses objetivos tem base na perspectiva sistêmica de análise do problema e na possibilidade de utilização de um modelo¹¹ para viabilizar essa análise e atingir o objetivo geral exposto. Assim, os objetivos específicos se constituem em:

¹¹ Um modelo de um fenômeno, no campo da pesquisa e desenvolvimento, é uma estrutura explicativa de seu comportamento desenvolvida pela atividade de modelagem (ou modelamento) (MÉLÈSE, 1973). É, em outras palavras, um sistema artificial que formaliza os parâmetros essenciais do sistema real (BASSANEZI, 1994). Pode ser gráfico, físico ou matemático (um desenho, uma maquete, um programa de computador). Os modelos são desenvolvidos para responder certas perguntas feitas pelo observador a respeito do fenômeno para melhor compreendê-lo (MÉLÈSE, 1973). Faz parte do processo de análise e oferece, assim, uma estratégia que viabiliza ao homem a capacidade de análise

- (i) Identificar os principais subsistemas atuantes na agregação do módulo de serviços ao produto e as principais interações destes na dinâmica do sistema;
- (ii) Descrever o sistema conceitualmente determinando os principais fatores de influência na dinâmica e os ciclos de realimentação de informação atuantes;
- (iii) Propor um modelo que permita a simulação computacional para análise quantitativa do comportamento dinâmico do sistema.

Destes objetivos a (i) identificação dos principais subsistemas e interações dinâmicas estabelece as bases e orienta os processos seguintes de desenvolvimento da pesquisa. A (ii) descrição conceitual explicitando os principais fatores associados formaliza a estrutura sistêmica abordada na pesquisa e permite uma análise qualitativa do fenômeno. Ainda, (iii) a simulação computacional permite a análise quantitativa do comportamento do sistema. Dessa forma pode ser estabelecidas diretrizes metódicas gerais para orientação aos processos de desenvolvimento do produto expondo claramente a perspectiva e considerações da análise.

1.5 JUSTIFICATIVAS

Primeiramente, a proposição do tema desta pesquisa atenta-se a coerência ao atual momento da economia nacional por explorar o setor de serviços. Isto porque no ano de 2012 em que o crescimento do PIB brasileiro foi de 0,9% o crescimento do setor de serviços atingiu 1,7%, enquanto o setor industrial retraiu 0,8% e o setor agropecuário retraiu 2,7% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [2013]). A relevância do setor de serviços para o cenário nacional pode ser percebido também na “política industrial, tecnológica, de serviços e de comercio exterior” (intitulada “Brasil Maior”) publicada pelo governo federal em dois de agosto de 2011. Esta política estabelece diretrizes para o período dos anos de 2011 a 2014 sendo que o foco consiste em alcançar a competitividade nos mercados internos e externos nos quais os serviços podem proporcionar diferentes oportunidades econômicas.

Referente à literatura vigente, como pode ser observado no Quadro 1 em que são apontados alguns trabalhos utilizados ao longo da pesquisa, os enfoques das abordagens referentes ao PSS diferem em

da realidade (D’AMBRÓSIO, 1986). A modelagem pode ser aplicada a um produto, processo, sistema, ou uma ideia qualquer.

relação ao foco da abordagem, suas considerações e a empregabilidade da abordagem. Os estudos também abrangem diferentes setores do mercado contribuindo com o conhecimento disponibilizado por diferentes perspectivas. No entanto, mostram-se insuficientes para um entendimento profundo por parte dos fabricantes do comportamento dinâmico relativo à agregação de serviços ao bem tangível.

Quadro 1 – Trabalhos referentes ao tema PSS e suas particularidades

Referência	Foco e considerações sobre a abordagem
Abramovici, Bellalouna e Göbel (2010)	Abordagem teórica para o desenvolvimento de ferramentas para gerenciamento das mudanças dinâmicas no PSS com a abordagem por meta dados. O foco está nas mudanças e processos de mudança (entre o planejado e sua implementação) do PSS.
Ceschin e Vezzoli (2010)	Aborda as atribuições necessárias aos <i>stakeholders</i> envolvidos no PSS
Richter, Sadek e Steven (2010)	Aborda o risco e outros aspectos envolvidos na implementação do sistema.
Geng et al. (2011)	Apresentação de um processo sistemático para o planejamento do PSS.
Lelah, Mathieux e Brissaud (2011)	Avaliação de desempenho de iniciativas PSS abordando os aspectos relevantes ao ciclo de vida destas iniciativas.
Phumbua e Tjahjono (2011)	Levantamento teórico das abordagens referentes ao PSS salientando características e parâmetros importantes a serem consideradas no seu modelamento.
Wang et al. (2011)	Estudo teórico que explora a modularização no contexto do PSS. Oferece uma perspectiva útil as etapas de desenvolvimento.
Yoon, Kim e Rhee (2012)	Proposição de um método para avaliação do PSS ainda no estágio de desenvolvimento.

Fonte: o autor

Especificamente referente à modelagem utilizando a Dinâmica de Sistemas (essa metodologia é descrita na seção 2.6) aplicada ao PSS, como é mostrado no Quadro 2, são dispostas duas pesquisas. Classificando estas pesquisas quanto ao nível sistêmico ao qual a abordagem se referem e as características e contribuições dessas abordagens, Bianchi et al. (2009) focam um contexto de mercado para o estudo da viabilidade do ingresso de empreendimentos PSS frente aos

incentivos governamentais necessários para tal. Com isso são viabilizadas análises quanto a inércia do mercado no ingresso do PSS, sendo útil tanto a governantes interessados neste contexto quanto aos fabricantes e prestadores pela visualização de perspectivas futuras quanto a viabilidade e estabilidade dos empreendimentos. Já Lee et al. (2012) desenvolvem uma proposta de avaliação do desempenho sustentável do PSS. Ao contrário das demais propostas de avaliação Lee et al. (2012) integram a visão do *Triple Bottom Line*¹² com a Dinâmica de Sistemas considerando o dinamismo e a multidimensionalidade destes impactos. Dessa abordagem são viabilizadas análises estratégicas de perspectivas futuras com a implantação de um determinado PSS, ou mesmo uma análise operacional nos aspectos salientados no comportamento do sistema. Contudo, mesmo estes trabalhos abordando questões gerenciais do PSS pelo uso da Dinâmica de Sistemas, e dessa forma observando a sua complexidade e dinamismo, não abordam o comportamento dinâmico de interesse.

Quadro 2 – Pesquisas que abordam o PSS utilizando a Dinâmica de Sistemas

Artigos	Foco da abordagem	Contribuições a gestão do PSS
Bianchi et al. (2009)	Análise estratégica de mercado.	Compreensão em nível estratégico do comportamento da expansão de empreendimentos PSS no mercado considerando os incentivos que viabilizariam tal expansão.
Lee et al. (2012)	Avaliação de desempenho sustentável do PSS.	Compreensão dos impactos ambientais de uma proposta PSS agregando as características de dinamismo e multidimensionalidade destes impactos.

Fonte: o autor.

Assim, essa pesquisa se justifica também em relação à literatura vigente uma vez que se propõe a integrar o conhecimento teórico e empírico desenvolvido em diferentes setores, suprimindo a lacuna identificada. Como tal expande o suporte aos fabricantes, aumentando as condições gerenciais e a segurança desta gestão.

¹² O *Triple Bottom Line* (ELKINGTON, 2004) articula a filosofia do conceito da sustentabilidade por uma perspectiva composta por três grandes dimensões: a dimensão social, econômica e a ambiental.

1.6 CONTRIBUIÇÕES ESPERADAS

Quando os modelos mentais¹³ do gestor (ou equipe) que fornecem a interpretação da situação real (mundo real) não observam a estrutura de realimentação de informações, as estratégias, estruturas e regras de gestão que fundamentam as decisões impactam no objeto de gerenciamento de forma linear. O efeito acumulativo da realimentação de informação sempre presente em situações reais distancia o objetivo desejado pela decisão tomada dos efeitos provocados na situação real objeto da gestão. A Figura 2a mostra esta condição de gestão na qual pode ser visualizado que os modelos mentais não são atualizados por ciclos de realimentação.

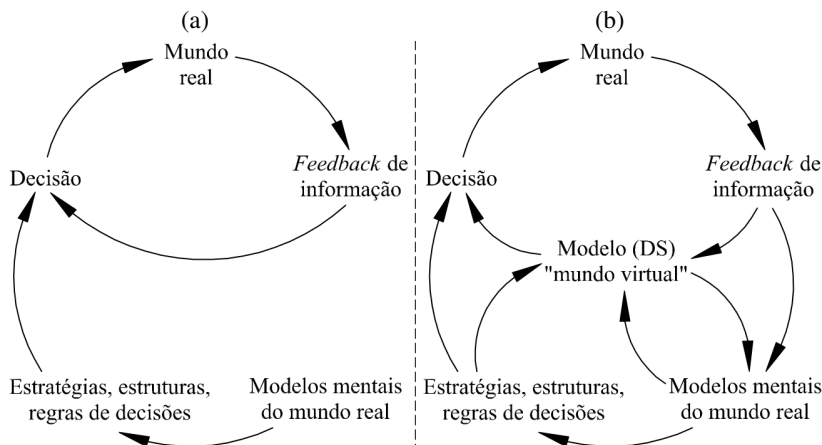
A proposição de um modelo de Dinâmica de Sistema estabelece um processo de aprendizagem uma vez que identifica e estrutura os ciclos de realimentação atuantes. Como é mostrado na Figura 2b os modelos mentais consideram estes ciclos pela interação com o modelo. Dessa forma, o modelo de Dinâmica de Sistemas estabelece um “mundo virtual” no qual as decisões podem ser testadas antes de serem aplicadas à situação real (mundo real). A constante atualização dos modelos mentais também pode, e deve gerar atualizações no próprio modelo da Dinâmica de Sistemas conforme a acentuação do entendimento do problema.

Assim, a aplicação da Dinâmica de Sistemas (DS) no contexto desta pesquisa contribui com o melhor entendimento da estrutura de ciclos de realimentação de informações que se fazem presentes e determinam o comportamento do PSS nos aspectos abordados. A proposição do modelo conceitual contribui com a identificação, sintetização, e organização das informações disponíveis na literatura vigente, e pela disponibilização do ponto de vista específico em que esta pesquisa foi desenvolvida. Dessa forma é disponibilizada aos gestores a referência qualitativa ao entendimento de como os subsistemas do PSS, em suas relações dinâmicas, interagem na criação e entrega de valor. Por fim, essa pesquisa também contribui com a construção do modelo estrutural e matemático que disponibiliza aos gestores um “laboratório de aprendizagem” no qual as decisões referentes à intervenção nos

¹³ Modelos mentais referem-se à visão de mundo de cada indivíduo, para cada caso. São constituídos de uma mistura de compreensão e valores reunidos ao longo de suas experiências e de sua educação (JACKSON, 2007). Os modelos mentais determinam a forma de pensar ou a estrutura de análise de um caso.

fatores e relações do contexto abordado para o PSS possam ser testadas antes de aplicadas à situação real.

Figura 2 – Processo decisório (a) sem aprendizagem e (b) apoiado pela DS



Fonte: Sterman (2000), tradução do autor.

Juntamente, esta pesquisa apresenta contribuições para a academia ao descrever o emprego da dinâmica de sistemas em um tema de estudo em particular. Essa aplicação explora a flexibilidade do instrumento, esclarecendo sobre as possibilidades de aplicação e possibilitando a comparação dos resultados obtidos aos resultados de pesquisas acerca do mesmo fenômeno que eventualmente sejam realizadas utilizando-se de outros instrumentos de intervenção.

Ressalva-se, contudo, que em função da característica do fenômeno de interesse e da própria condução da análise essa pesquisa não engloba os aspectos sustentáveis do PSS. Esses aspectos são ressaltados ao longo dessa introdução por justificar o tema abordado e também por caracterizar o PSS. A condução para uma dinâmica sustentável de atuação pelo PSS depende de todo o processo de desenvolvimento do mesmo enquanto esta pesquisa aborda um fenômeno necessário para prover uma dinâmica desejável, mas não diretamente associado às questões sustentáveis.

1.7 ESTRUTURA DE APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

Essa dissertação é composta por essa **introdução** que concentra a contextualização e as informações referentes à condução da pesquisa. Os **métodos** adotados para a revisão da literatura e para análise do problema são expostos no Capítulo 2, formalizando assim a abordagem utilizada. O Capítulo 3 consiste na **fundamentação teórica** que engloba a revisão bibliográfica de forma a conduzir ao entendimento dos aspectos gerais e aspectos específicos dessa pesquisa. No Capítulo 4, **construção do modelo**, é realizada a interpretação e o tratamento dos dados utilizando a metodologia Dinâmica de Sistemas. O Capítulo 5 expõe os testes realizados para a **validação do modelo**. No Capítulo 6 é explicitada a **projeção de cenários e análise** desses dados, além de expor a resolução proposta ao problema de pesquisa. Por fim, as **conclusões** constituem o Capítulo 7.

2 MÉTODOS

Neste capítulo a pesquisa é enquadrada metodologicamente e, na sequência, são tratados os métodos utilizados para a execução de suas diferentes etapas. A adoção da “Dinâmica de Sistemas” como intervenção de intervenção é devidamente justificada. A estrutura que representa o processo de realização da pesquisa é apresentada. São descritos os procedimentos utilizados para a revisão da literatura e bibliometria, tendo por fim a descrição do instrumento de intervenção.

2.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

O enquadramento metodológico da investigação teórica proposta nesta pesquisa é apresentado a seguir. São abordadas a (i) natureza do objetivo, (ii) natureza da pesquisa, (iii) coleta de dados, (iv) abordagem do problema, (v) resultados e (vi) o instrumento de intervenção, sendo:

- (i) A natureza do objeto desta pesquisa é predominantemente descritiva quando descreve os fatores mais importantes integrantes do sistema delimitado. Também apresenta característica exploratória quando trata o fenômeno;
- (ii) A natureza da pesquisa predominantemente indutiva em sua estruturação. Na sua interpretação, contudo, também apresenta característica dedutiva;
- (iii) A fonte de coleta dos dados é de natureza secundária por utilizar pesquisa bibliográfica para fundamentação do estudo;
- (iv) A abordagem do problema é predominantemente qualitativa na estruturação quando determina e relaciona os fatores mais importantes do sistema. Mas, também é caracterizada como quantitativa quando do tratamento do problema;
- (v) Quanto aos resultados, a pesquisa se caracteriza como aplicada, pois aborda questionamentos acerca do comportamento e relações no campo organizacional relevante ao contexto social;
- (vi) O instrumento de intervenção adotado nesta pesquisa é a metodologia Dinâmica de Sistemas.

Para a fundamentação teórica geral do trabalho utilizou-se o acervo bibliográfico físico da Universidade Federal de Santa Catarina e as bases de dados disponibilizadas por ela, sendo as bases assinadas do portal Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a base de dados de livros eletrônicos *Ebrary Academic Complete* e a base de dissertações e teses *ProQuest Dissertations and Theses* (PQDT). Também foram utilizadas publicações de anais e

simpósios disponíveis na *web*. Já para a realização do estudo (a fundamentação teórica específica e a coleta de dados) foram utilizadas publicações científicas qualificadas incluindo, também, artigos de congressos especificamente relacionados ao PSS. A população amostral de coleta de dados para este fim é delimitada pelas bases de dados disponibilizadas no portal CAPES. O instrumento utilizado para reunir as informações consiste no processo estruturado *Knowledge Development Process - Constructivist* (ENSSLIN et al., 2010).

2.2 JUSTIFICATIVA PARA ADOÇÃO DO INSTRUMENTO DE INTERVENÇÃO “DINÂMICA DE SISTEMAS”

Como as perspectivas de análise do Sistema Produto-Serviço são vastas, muitos poderiam ser os enfoques à criação de modelos e a seleção de métodos e ferramentas para este fim (MONT, 2002). Nesse sentido a investigação conduzida por Phumbua e Tjahjono (2011) relaciona 22 trabalhos que utilizam técnicas de modelagem e ferramentas nos diferentes aspectos relacionados ao PSS. Esses dados são dispostos no Quadro 3.

Quadro 3 – Relação de técnicas e ferramentas utilizadas na modelagem PSS

Referência	Técnica	Ferramenta
Fujimoto et al. (2003)	Simulação de eventos discretos	Simulador de ciclo de vida
Komoto et al. (2005)	Simulação de eventos discretos / algoritmo genético	Simulador de ciclo de vida
Aurich, Fuchs e Wagenknecht (2006)	Método orientado ao ciclo de vida; Modularização de processo	UML 2.0 Modelo de processo produtivo integrado (IPMM)
Morelli (2006)	Análise de caso e cenários; <i>Service blueprinting</i> ; IDEF0	
Buxton, Farr e Mccarthy (2006)	Simulação baseada em agentes	AnyLogic
Sakao e Shimomura (2005)	Desdobramento da função qualidade (QFD); Processo de hierarquia analítica	Service Explorer; JAVA2 SDK, Std edition 1.4.1; XML 1.0
Maussang et al. (2007)	Análise funcional; Projeto de valor por agentes	

Quadro 3 – continuação

Komoto e Tomiyama (2008)	Modelagem de serviços	CAD e simulador de ciclo de vida
Abramovici et al. (2009)	UML	
Kim et al. (2009)	<i>Ontological representation</i> ; Ciclo de modelagem de atividade – UML / OML	Protégé, com conversão para Jess
Hara et al. (2009)	<i>Service blueprinting</i>	<i>Bussines Process Management Notation</i>
Bianchi et al. (2009)	Dinâmica de Sistemas	
Alonso-Rasgado, Thompson e Elfström (2004)	Modelagem molecular; <i>Service blueprinting</i> ; Simulação de eventos discretos	Linguagem de programação geral
Hara, Arai e Shimomura (2006)	<i>Petri net simulation</i> ; QFD; Processo de hierarquia analítica (DEMATEL);	<i>Service Explorer</i> CPN Tools
Low et al. (2000)	TRIZ	
Muller e Blessing (2007)	Entidades de processamento; <i>V-model</i>	
Schuh, Boos e Kozielski (2009)	Modelo orientado ao custo do ciclo de vida; Custeio baseado em atividades	
Morelli (2003)	Análises de caso e funcional <i>Blueprint</i>	
Weber et al. (2004)	Projeto/desenvolvimento voltado às propriedades (PDD)	
Evans, Partidário e Lambert (2007)	Mapeamento de soluções; Custeio do ciclo de vida	
Jin e Liya (2008)	QFD com abordagem <i>Fuzzy</i> ;	
Schuh e Gudergan (2009)	<i>Service blueprinting</i> ; <i>Advance sequential incidente</i> ; Análise de interdependências; Comparação por pares; Abstração progressiva	

Fonte: adaptado de Phumbua e Tjahjono (2011), tradução do autor.

A partir desta relação, a modelagem em PSS pode ser segmentada em três categorias relativas ao objeto foco da modelagem: a categoria de modelagem voltada ao usuário, voltada ao produto-serviço e a categoria voltada ao sistema (PHUMBUA; TJAHJONO, 2011). Cada categoria requer, em função de suas particularidades, uma correspondência à estruturação e ao formalismo das técnicas de modelagem.

Assim, na primeira categoria, voltada ao usuário, são focadas não somente as necessidades dos mesmos, como aspectos referentes à interação do consumidor com o produto-serviço, a interação dos prestadores com o consumidor ou a própria interação entre usuários do sistema. Nesta categoria podem ser situadas as abordagens referentes ao modelamento de negócio e os diversos mapeamentos dirigidos à configuração da rede de envolvidos no sistema. Utilizaram-se comumente o método de modelagem “*service blueprinting*”, “modelagem de cenários”, as ferramentas implícitas na “engenharia de serviços” (*flow model*, *scope model*, *view model*), técnicas gráficas como a IDEF (*Integration Definition Language*) e mapeamentos (de fluxo de valor, atividades, entre outros).

A segunda categoria, que foca no próprio produto-serviço, está relacionada aos paradigmas de projeto. Aplicaram-se nas modelagens referentes a esta categoria as técnicas “teoria da solução inventiva de problemas (TRIZ)”, “*V-model*”, “desdobramento da função qualidade (QFD)” e “projeto/desenvolvimento voltado às propriedades (PDD)”.

A terceira categoria é voltada ao sistema focando o auxílio aos projetistas e gerentes na compreensão dos impactos de suas atividades visando à melhoria do desempenho do sistema. Aborda questões de ordem tanto estratégicas quanto operacionais. Nesta categoria são empregadas três técnicas de modelagem: “eventos discretos”, “dinâmica de sistemas” e “baseada em agentes”.

Referente a esta terceira categoria a modelagem por “eventos discretos” considera os estados das variáveis do problema como variando em um conjunto discreto de valores no tempo. É utilizada na análise de sistemas de manufatura e análise de muitos aspectos relacionados ao ciclo de vida de produtos. Entretanto também vem sendo explorada na análise de funcionalidade em serviços (ALONSO-RASGADO; THOMPSON; ELFSTRÖM, 2004). Sua aplicação no PSS permite avaliar seu desempenho em função de ocorrência de eventos.

Já a simulação da interação entre agentes, ao invés de fluxos de processos, consiste em uma abordagem sensível a característica proposital de sistemas complexos. Pode ser empregado para analisar o comportamento dinâmico do mercado (considerando os agentes como as

organizações) e avaliar o desempenho de agentes em contextos específicos (considerando, por exemplo, a avaliação do agente “engenheiro” no contexto de suas atribuições).

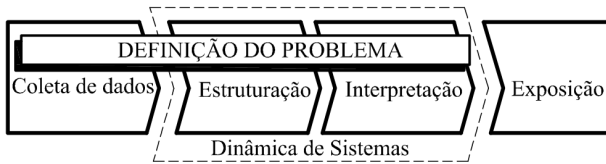
Por fim, a Dinâmica de Sistemas assim como a simulação baseada em agentes também encontra aplicações na análise de sistemas de manufatura e de aspectos do ciclo de vida de produtos. Contudo, pode ser empregada a qualquer tipo de sistemas quando o interesse é seu comportamento no tempo (COYLE, 1996). Assim, é utilizada para fundamentar decisões baseadas em longos horizontes de planejamento em contextos com alto nível de abstração. Seu principal diferencial e contribuição para a análise de sistemas complexos, como os sistemas organizacionais, está em uma versátil linguagem utilizada para simulação e projeção de cenários representativos dos efeitos dos ciclos de realimentação identificados no sistema. A Dinâmica de Sistemas aborda o comportamento do sistema como função de sua estrutura. Dessa forma, o foco recai nas relações temporais e não nos valores absolutos dos elementos. Essa é a característica que lhe permite analisar sistemas sócios técnicos em geral.

Dessa maneira, como o objetivo desta pesquisa está relacionado à compreensão do comportamento de aspectos do PSS buscando sua visualização de forma temporal e como a DS é concordante com a abordagem sistêmica necessária a esta pesquisa (conforme o Capítulo 1), optou-se pela utilização da DS como instrumento de intervenção. Assim os modelos construídos no desenvolvimento desta pesquisa vinculam-se a linguagem utilizada por esta metodologia.

2.3 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A estruturação desta pesquisa apresentada de maneira ilustrada pela Figura 3. Inicia-se pela “definição do problema” (sintetizada na contextualização) que delimita o estudo. A definição do problema, contudo, se estende até a etapa de interpretação como resultante do processo de construção do conhecimento proporcionado pelo próprio desenvolvimento da pesquisa. A “coleta de dados” é realizada pela revisão da literatura orientada por um processo específico. A “estruturação” e “interpretação” são feitas conforme a metodologia de Dinâmica de Sistemas sendo que a etapa de “interpretação” é apoiada pela projeção de cenários. Por fim os dados são discutidos e têm-se a exposição dos resultados desta pesquisa.

Figura 3 – Estrutura da pesquisa



Fonte: o autor.

Na sequência o processo adotado para a coleta de dados com a revisão da literatura é apresentado e descrito. Também é descrita a análise quantitativa (bibliometria) referente ao portfólio bibliográfico formado pela revisão. A estrutura da metodologia da Dinâmica de Sistemas é abordada em detalhes, evidenciando e descrevendo os princípios da metodologia e as etapas de que é constituída.

2.4 PROCESSO DE REVISÃO DA LITERATURA

A utilização de um processo estruturado para a revisão da bibliografia busca a maior garantia de alinhamento dos trabalhos selecionados com a pesquisa e, também, oferecer transparência ao processo. No entanto, essa adoção não impede ao pesquisador agregar trabalhos ao portfólio que eventualmente seriam rejeitados em alguma etapa do processo, se julgado pelo pesquisador como necessários.

Conforme o processo adotado nesta pesquisa primeiramente são definidas as palavras-chave a serem utilizados para a pesquisa nas bases de dados. Na sequência há a definição das bases de dados para fornecimento do banco de artigos brutos e a, propriamente, a sua aquisição. Concluindo o processo é realizada a filtragem do banco de dados bruto resultando na definição do portfólio bibliográficos concentrando os artigos utilizados para a fundamentação específica desta pesquisa. Estas etapas são explanadas na sequência.

2.4.1 Definição das palavras-chave

Para a formação das palavras-chave de pesquisa primeiramente foram definidos os eixos de pesquisa. São então selecionados termos que representem cada eixo. Estes termos associados formam as palavras-chave de pesquisa. Mas, para que os termos sejam coerentes ao eixo de pesquisa correspondente e de fato aplicados na literatura acadêmica foi conduzido um processo de seleção.

Neste processo de seleção primeiramente foram coletados trabalhos sobre o tema em diferentes bases de dados. Uma leitura não estruturada foi conduzida nestes trabalhos. Desta resulta a seleção dos principais termos que se referem aos eixos de pesquisa. Porém, estes termos ainda têm sua aderência ao eixo de pesquisa correspondente verificada por uma análise qualitativa e outra quantitativa, ambas conduzidas em artigos adquiridos por buscas prévias realizadas em diferentes bases de dados. A análise qualitativamente busca verificar se o termo refere-se somente ao que o eixo de pesquisa representa. Já a análise quantitativa seleciona os termos que apresentam maior número de resultados e, portanto, refletem uma maior aderência ao eixo de pesquisa.

2.4.2 Definição das bases de dados e aquisição do banco de artigos brutos

Na sequência são selecionadas as bases de dados que fornecerão o banco de artigos para a pesquisa. Utilizando os termos previamente selecionados são realizadas buscas nas principais bases de dados. As bases de dados que apresentam maior quantidade de resultados são consideradas mais alinhadas ao tema, e assim, adotados como fornecedores dos artigos. Nesta pesquisa são utilizadas as seis bases de dados mais alinhadas ao tema.

Assim, com palavras-chave de pesquisa utilizam-se as bases de dados para a aquisição do banco de artigos brutos. Este é importado ao *software* EndNote X5 para viabilizar a filtragem e o posterior gerenciamento.

2.4.3 Filtragem do banco de artigos

A filtragem do banco de artigos inicia pela (a) filtragem quanto ao período de análise. Essa filtragem é realizada diretamente no processo de aquisição do banco de artigos brutos pelas bases de dados adotadas. Na sequência o banco de artigos brutos é (b) filtrado quanto à redundância. Nessa etapa com a utilização do software é possível localizar e excluir os artigos replicados entre as bases de dados. Os artigos ainda são (c) filtrados quanto o alinhamento do título e (d) quanto ao alinhamento do resumo. Ambas as etapas são conduzidas de maneira subjetiva, porém com vistas aos objetivos da pesquisa. Na sequência o portfólio em análise é (e) filtrado em relação ao reconhecimento científico. São considerados cientificamente

reconhecidos os artigos com número de citações situado na porcentagem que atendem a uma representatividade fixada. Com isso há uma segmentação do grupo de artigos (repositórios K e P) submetidos a diferentes processos. Os artigos que atendem ao reconhecimento fixado (repositório “K”) são diretamente (f) filtrados em ralação ao seu alinhamento integral. Já os artigos com reconhecimento ainda não comprovado (repositório “P”), visto que artigos mais recentes ainda sendo difundidos na comunidade acadêmica, podem ainda ser verificados quanto à relevância de seus autores. Como o repositório “K” é formado o banco de autores de referência ao qual são comparados os artigos do repositório “P” publicados há menos de dois anos. Assim são identificados trabalhos que mesmo não atingindo a representatividade fixada foram realizados por autores reconhecidos no portfólio. Com isso, os artigos do repositório “P” com menos de dois anos, bem com os artigos com mais de dois anos com autores constantes no banco de autores também são (f) analisados em sua íntegra. Os artigos considerados integralmente alinhados constituem o “portfólio prévio” que ainda é submetido ao (g) teste de representatividade. O teste de representatividade visa certificar a incorporação de versões atualizadas do conhecimento contido em trabalhos muito importantes que possam ter sido excluídos do processo em função da filtragem quanto ao período de análise. Assim, esse teste pode resultar em novos ciclos de análise e a incorporação de artigos. Esse processo é ilustrado na Figura 4.

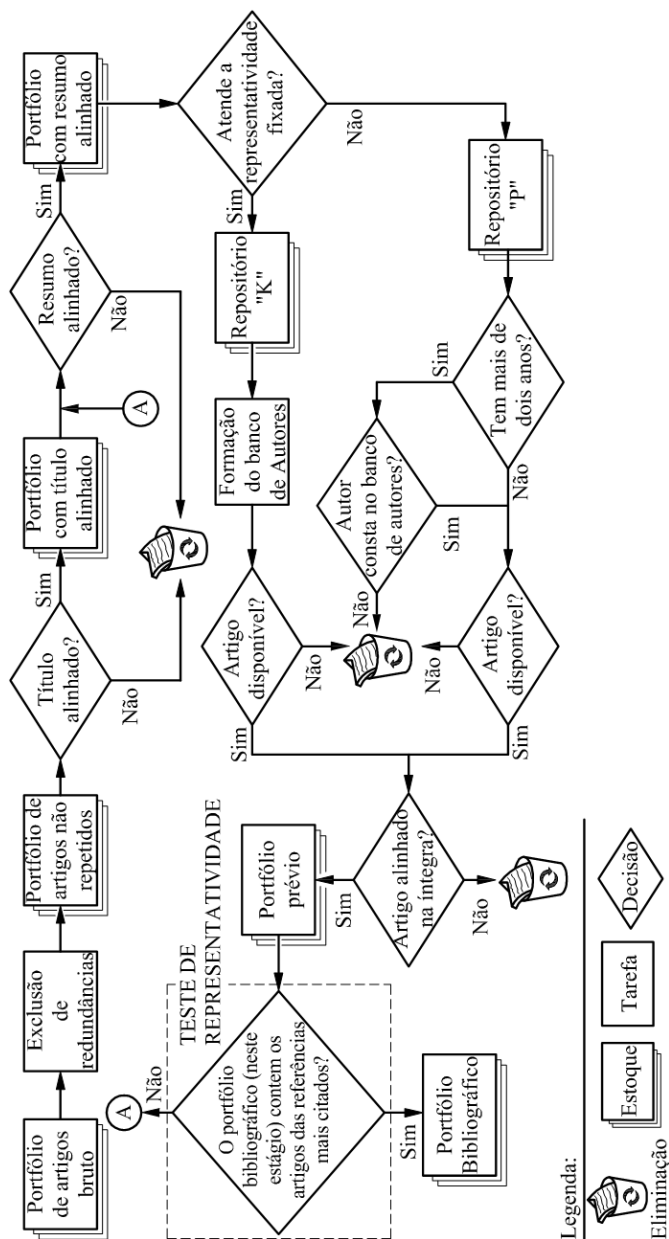
Uma vez que o portfólio bibliográfico seja considerado com representatividade estão definidos os artigos a serem utilizados na pesquisa. Os artigos do portfólio bibliográfico são destinados à fundamentação teórica específica, contudo, podem também ser utilizados para fundamentar partes diversas dessa pesquisa.

2.5 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica do portfólio de artigos ajuda a construir uma visão geral dos trabalhos utilizados como referência para a pesquisa. Esta, por meio da contagem de documentos, evidencia os dados estatísticos do conjunto de artigos para a gestão da informação e conhecimento científico do assunto abordado (ENSSLIN et al., 2010).

Dois aspectos quantitativos foram abordados nesta análise. Esses consistem no (a) grau de relevância dos periódicos (considerado como o número de artigos pertencentes ao periódico) e no (b) reconhecimento científico dos artigos (considerando o número de citações do artigo na data de pesquisa, determinado com auxílio do Google Acadêmico).

Figura 4 – Processo para revisão da bibliografia



Fonte: adaptado de Ensslin et al. (2010).

2.6 INSTRUMENTO DE INTERVENÇÃO (DINÂMICA DE SISTEMAS)

A evolução da Dinâmica de Sistemas (DS)¹⁴ deu-se fundamentalmente a partir de trabalhos em sistemas de controle de servomecanismos e de sistemas eletrônicos de amplificação (FORRESTER, 1992). As características desses trabalhos conduziram à estruturação da metodologia com ferramentas específicas que abordam a relação entre os elementos do sistema conferindo suas características complexas de não linearidade. Os conceitos utilizados pela Dinâmica de Sistemas para o controle dos sistemas de engenharia, observando-os como sistemas abertos, adotam uma linguagem de integração alinhada aos fundamentos da teoria dos sistemas. Esses fundamentos, a partir da década de 1950, expandiram suas aplicações a todos os processos de mudança biológica, natural, ambiental e social (FORRESTER, 1992).

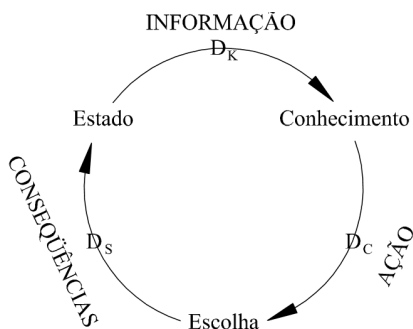
A metodologia da Dinâmica de Sistemas tem o ciclo de realimentação¹⁵ como o elemento estrutural básico dos sistemas (FORRESTER, 2005). Por estes ciclos são representadas as estruturas sistêmicas relacionando os elementos e definindo o comportamento. Assim, **a metodologia Dinâmica de Sistemas trabalha com o comportamento dos sistemas em dependência do tempo e emprega modelos qualitativos e quantitativos objetivando a descrição dos sistemas e o entendimento sobre qual ciclo de realimentação de informação governa seu comportamento** (COYLE, 1996).

O paradigma da DS está no ciclo informação/ação/consequência. Considera que o “estado do sistema” produz uma “informação” por meio de fatores percebidos que caracterizam o estado. Essa informação leva o “conhecimento” do estado atual do sistema que, frente ao estado desejado, acarreta “ações” na tentativa de minimização da discrepância entre esses dois estados. Da “escolha” tomada na readaptação do sistema um novo estado é gerado. A Figura 5 representa esse paradigma, sendo essa sequência que atribui o comportamento dinâmico dos sistemas.

¹⁴ *System Dynamics* (FORRESTER, 1961).

¹⁵ Um sistema apresenta estruturas de malha aberta (*open-loop*) que conduzem a informação em uma cadeia linear de causa e efeito e estruturas de malha fechada (*close-loop*) ou, como também são conhecidos, ciclos de realimentação (*feedback loop*) nos quais as reações desencadeadas pela mudança em um dos fatores do sistema percorrem um caminho que as conduzem novamente a essa variável. Em um ciclo de realimentação um fator é, ao mesmo tempo, causa e efeito.

Figura 5 – Paradigma da Dinâmica dos Sistemas



Fonte: Coyle (1996).

No entanto, como também está denotado na Figura 5, defasagens de tempo podem estar atuando na sequência dos componentes de informação/ação/consequência (D_K , D_C e D_S , respectivamente). Dessa maneira, o padrão de comportamento¹⁶ da mudança do estado ao longo do tempo de um sistema particular depende do quanto bem a informação e as ações estão ajustadas, considerando as defasagens existentes, e ao modo como as consequências surgem nesse sistema (COYLE, 1996).

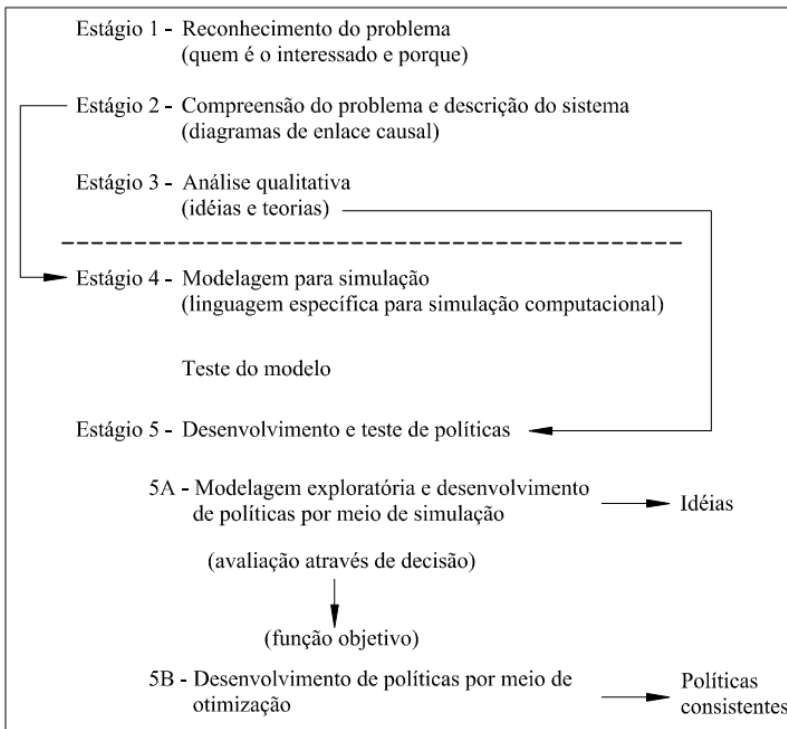
2.7 ESTRUTURAÇÃO DA METODOLOGIA

A estruturação da Dinâmica de Sistemas segundo Coyle (1996) é apresentada na Figura 6. O primeiro estágio consiste no reconhecimento do problema, reconhecimento de para quem (qual ou quais *stakeholders*) este problema é significativo e por que. Posteriormente, no estágio 2, o sistema é descrito qualitativamente por meio dos diagramas de influência (ou diagramas de enlace causais, ou ainda, diagramas de causalidades). Estes diagramas são modelos conceituais ou interpretativos que auxiliam o entendimento, não somente do problema, mas também das diferentes visões sobre este, advindas das diferentes funções dos atores no sistema. O estágio 3 analisa qualitativamente a descrição conceitual, estabelecendo novas ideias sobre o fenômeno, estimulando o questionamento e, conseqüentemente, refinando-o. Neste estágio, conforme (COYLE, 1996), se o problema for compreendido de forma a estabelecer condições de sua resolução, atingindo o objetivo da Dinâmica de Sistemas, não é necessário proceder no processo. Isto é

¹⁶ Comportamento tipicamente observado para sistemas constituídos pela mesma estrutura sistêmica de condução da informação.

representado na Figura 6 pelo uso da linha tracejada entre os estágios 3 e 4. Caso contrário, evolui-se ao estágio 4 que corresponde à conversão do modelo qualitativo em modelo quantitativo em uma linguagem de fluxos e estoques para prover a simulação (ligação entre os estágios 2 e 4 na Figura 6). Corresponde em expressar a relação entre os fatores considerados em termos matemáticos. A linguagem de fluxos e estoques também será abordada novamente na sequência. O estágio 5 emerge do início da análise qualitativa. Inicialmente são analisadas as ideias e teorias postas sobre o sistema (ligação entre o estágio 3 e o estágio 5 representada na Figura 6). Os estágios 5A e 5B representam as alterações e implementações idealizadas para resolver os problemas. Corresponde a testes realizados no ambiente de simulação anteriormente a implementação no fenômeno real.

Figura 6 – Estruturação da análise pela Dinâmica de Sistemas



Fonte: Coyle (1996).

Na sequência são detalhados os estágios desta estruturação da Dinâmica de Sistemas utilizados neste trabalho (estágios 1, 2, 3 e 4) por serem necessários e suficientes para a realização desta pesquisa. Dessa forma, são apresentados os termos da abordagem e apresentadas às representações (adotadas neste trabalho) referentes às ferramentas empregadas pela Dinâmica de Sistemas na descrição de sistemas. Essas representações guardam algumas diferenças entre o exposto por diferentes autores que trabalham a Dinâmica de Sistemas, mas que não são significativas, de forma que a linguagem da Dinâmica de Sistemas pode ser compreendida com pequenas variações.

2.7.1.1 Estágio 1 – Reconhecimento do problema

A descrição do problema deve ser completa, de forma a especificar o sistema a ser abordado, porém não demasiadamente extensa (SENGE et al., 1999). Deve possuir caráter dinâmico de forma a expressar uma preocupação relacionada ao comportamento do sistema (por exemplo: oscilação da demanda, imprevisão da demanda, queda no faturamento, crescimento sem controle das reclamações). Juntamente deve expressar a relação temporal do problema. Assim, o problema é abordado e interpretado de forma alinhada ao paradigma da Dinâmica de Sistemas viabilizando e facilitando a construção do conhecimento sobre tal e, permitindo o reprojeto do sistema e sua adequação ao comportamento esperado.

A indagação do propósito do problema, a atribuição da relevância do problema a alguém ou algum grupo define também o ponto de vista pelo qual o problema será analisado. Frente aos diferentes *stakeholders* envolvidos no sistema o problema abordado pode assumir diferentes aspectos. Diretamente associados a estes aspectos estão os limites do sistema e todos os fatores considerados necessários e suficientes na explicitação da estrutura do sistema e relacionamentos entre esses fatores formando a estrutura.

No entanto, Coyle (1996) salienta que muito raramente estas questões são respondidas completa ou adequadamente neste primeiro estágio. Neste sentido, a metodologia da Dinâmica de Sistemas favorece o aprendizado ao longo do processo ajudando no entendimento do problema de forma que, com reanálises é possível “lapidar” as respostas iniciais. Isto porque o trabalho na Dinâmica de Sistemas não segue as etapas do processo linearmente, mas sim interativamente, como será mostrado na sequência.

2.7.1.2 Estágio 2 – Compreensão do problema e descrição do sistema (modelagem qualitativa)

A compreensão é gerada pela descrição da lógica do problema abordado, exploração de ideias e discussões construtivas. Na pesquisa e desenvolvimento isto pode ser viabilizado com a modelagem qualitativa (ou interpretativa, ou conceitual). Este estágio, então, objetiva a descrição da estrutura do sistema, não só como produto do estágio, mas também como auxílio para uma compreensão do sistema abordado.

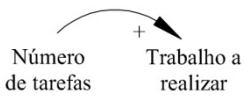
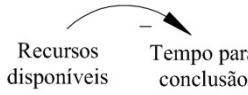
Na descrição do sistema o “diagrama de causalidade” é a ferramenta utilizada pela Dinâmica de Sistemas. Consiste em uma lista de fatores de um problema, sendo que setas e sinais mostram o relacionamento entre estes fatores (COYLE, 1996). Este diagrama descreve o sistema abordado, associando os ciclos de realimentação e formalizando a sua estrutura do sistema. A representação da estrutura do sistema pelo diagrama de influencia constitui o modelo conceitual da abordagem Dinâmica de Sistemas explicitando como o processo sistemático de informação/ação/consequência se sucede no sistema abordado. Os termos e representações necessárias ao entendimento dos diagramas de influência que serão construídos neste trabalho são:

Fatores ou variáveis: Os fatores ou variáveis são a representação verbal e escrita da interpretação humana dos componentes que compõem e formam as estruturas dos sistemas e, dessa forma, promovem o comportamento dinâmico dos componentes de informação/ação/consequência. O termo fator ou variável possuem conotações referentes ao sistema analisado. Esses termos são contextualizados pela abordagem desenvolvida. Dessa maneira, se abordado um sistema puramente técnico os fatores envolvidos poderiam corresponder a: temperatura inicial, diferença de temperaturas, taxa de resfriamento, etc. Já se a abordagem ocorre em um contexto sócio técnico, então os fatores envolvidos neste, dependendo do foco da abordagem, poderiam corresponder a: motivação, capacidade de desenvolver uma atividade, capacidade de comunicação, entre outros. Também, chamam-se **fatores exógenos** aos relativos ao ambiente, não podendo ser manipulados pela gestão do sistema; e **fatores endógenos** os integrantes internos dos sistemas.

Relações de causalidade: As “relações causais” (ou relações de causa e efeito) constituem a representação da relação entre duas variáveis, a causa e seu efeito. São representadas graficamente por uma seta e um sinal. Há dois tipos de relações de causalidade: as relações positivas e as negativas. A relação causal positiva é identificada por uma

seta e um sinal positivo. Esta indica que “se ocorrer um aumento na causa o efeito também aumentará acima do que aumentaria caso tal aumento não ocorresse e vice-versa” (STERMAN, 2000). A relação causal negativa é identificada por uma seta e um sinal negativo. Por sua vez, indica que “se ocorrer um aumento na causa o efeito diminuirá abaixo do que diminuiria caso tal aumento não ocorresse e vice-versa” (STERMAN, 2000). O Quadro 4 ilustra as possíveis relações causais entre dois fatores. As relações causais são os elementos básicos dos ciclos de realimentação.

Quadro 4 – Relações de causalidade

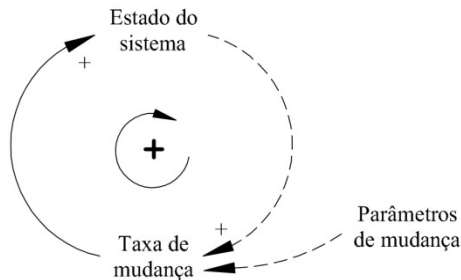
Relação causal	Interpretação
<p>Relação causal positiva</p>  <p>Número de tarefas → Trabalho a realizar</p>	<p>Representa proporcionalidade direta. Logo, se o “número de tarefas” aumentar, o “trabalho a realizar” também aumentará. Caso o “número de tarefas” diminuir, o mesmo ocorrerá com o “trabalho a realizar”.</p>
<p>Relação causal negativa</p>  <p>Recursos disponíveis → Tempo para conclusão</p>	<p>Representa proporcionalidade inversa. Assim, se os “recursos disponíveis” para a execução de uma tarefa aumentar, o “tempo para conclusão” da mesma diminuirá. Porém, se os “recursos disponíveis” tornarem-se escassos, o “tempo para conclusão” da tarefa irá aumentar.</p>

Fonte: o autor.

Ciclo de realimentação: São os elementos básicos dos diagramas de causalidade. As estruturas dos sistemas apresentam, no entanto, apenas dois tipos de ciclos de realimentação atuando para gerar os diversos padrões de comportamento observados. Esses são: o **ciclo de realimentação positivo** e o **ciclo de realimentação negativo**. O ciclo de realimentação positivo é caracterizado pelo fato que quando um fator qualquer deste ciclo tem uma variação (de aumento, por exemplo) as relações causais envolvidas no ciclo fazem com que esta mesma variável seja realimentada com uma variação no mesmo sentido (neste exemplo, uma variação de aumento novamente). Ou seja, este ciclo representa a estrutura sistêmica responsável pelo crescimento exponencial, no qual o “estado atual” de um sistema é amplificado com uma “taxa de mudança” determinada por “parâmetros de mudança”. A constituição básica desse tipo do ciclo é mostrada na Figura 7. Já o ciclo de realimentação negativo representa ações que levam à estabilização de um sistema,

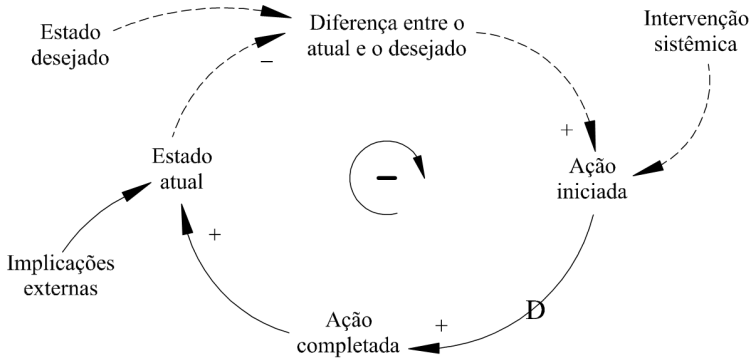
conhecido como o padrão de comportamento “busca pela meta”. Neste ciclo, quando um fator qualquer tem uma variação, as relações causais envolvidas no ciclo fazem com que essa mesma variável seja realimentada com uma variação no mesmo sentido oposto. Para tal, como mostra a constituição básica do ciclo de realimentação negativo mostrado na Figura 8, o sistema compara o “estado atual”, sujeito a “implicações externas”, ao “estado desejado” e aplica “ações” para diminuir a “diferença entre estes estados”.

Figura 7 – Representação gráfica do “ciclo de realimentação positivo”



Fonte: Adaptado de Coyle (1996).

Figura 8 – Ciclo de realimentação negativo



Fonte: Adaptado de Coyle (1996).

Na representação da Figura 7 e da Figura 8 o elemento de “consequência” do paradigma informação/ação/consequência, ou seja, o que flui no sistema é representado com a ligação entre os fatores deste elemento feita por linha contínua. Os fatores relativos aos elementos de “informação” e “ação” que geram e são geradas pelas mudanças de

estado do sistema são interligados por linha tracejada. Em um diagrama de influência o fluxo do sistema é o aspecto de mudança e nele são ligados os vários ciclos de realimentação formados pelas variáveis associadas (os principais fatores considerados pertinentes ao sistema dentro dos limites estabelecidos). O ciclo de realimentação positivo em um diagrama de influência é identificado com um semicírculo contendo o sinal “+” que é explicitado interno ao ciclo. O ciclo de realimentação negativo, por sua vez, é identificado com um semicírculo contendo o sinal “-”. Ainda as variáveis exógenas (cujas influências são externas aos limites do sistema) são representadas em uma caixa para diferenciá-las das demais.

2.7.1.3 Estágio 3 – Análise qualitativa

A análise qualitativa do modelo primeiramente auxilia na construção do conhecimento sobre o sistema analisado. Juntamente estabelece confiança de que o modelo é útil para o propósito da análise. Engloba a análise dos ciclos de realimentação e análise das teorias sobre o sistema.

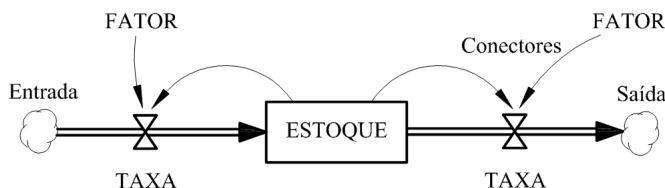
Ao analisar os ciclos de realimentação busca-se identificar, caso tratem-se de ciclos negativos, se estes deixam claros os estados desejados para o sistema, se representam realmente o objetivo desejado para o ciclo (se os fatores que refletem os esforços do ciclo estão em, por exemplo, manter um determinado nível de estoque de suprimentos caso o sistema se proponha a tal) (COYLE, 1996). Caso contrário, seria muito improvável um ciclo de realimentação negativo tem sucesso em eliminar as discrepâncias e poderia mostrar evidências de que estaria fora de controle (como se o nível de estoque de suprimento, citado como exemplo anterior, não pudesse nunca ser obtido). Da mesma maneira, caso haja ciclos de realimentação positivos, esses são analisados de modo a identificar pelo mesmo raciocínio lógico se estes produzem o comportamento esperado (o crescimento ou redução exponencial). Ainda, o conjunto de ciclos de realimentação quando possui ciclos positivos deve sempre apresentar junto a estes os ciclos negativos que limitam o crescimento exponencial (o que é observado no comportamento real dos sistemas). Por fim, em um nível mais avançado um conjunto de ciclos de realimentação identificados para o sistema em análise pode ser comparado a conjunto de ciclos de outros sistemas que guardam particularidades, de forma que novas idéias possam ser geradas e o modelo complementado.

2.7.1.4 Estágio 4 – Modelagem para simulação

Os modelos quantitativos (ou matemáticos) são utilizados para a análise minuciosa na qual a capacidade de compreensão humana se torna insuficiente. Estes viabilizam a simulação computacional que utiliza o cálculo numérico implementado em computador para imitar o comportamento de um sistema. Assim, uma vez que o modelo estiver construído e as condições iniciais especificadas, podem ser simuladas comportamentos com diferentes valores de variáveis ao longo do tempo (MARTIN, 1997). O diagrama de fluxos e estoque é a ferramenta da Dinâmica de Sistemas que permite a simulação computacional. Utiliza uma linguagem específica e comum para os softwares que operacionalizam modelos na abordagem da Dinâmica de Sistemas.

A representação básica de um diagrama de fluxos e estoque é mostrada na Figura 9. Nesta, as “**variáveis**”, que também estão no diagrama de influência já abordado, representam da mesma forma os fatores de influência, direta ou indireta, nos estoques e nos fluxos. As variáveis representam os componentes de “informação” e “ação” do paradigma da Dinâmica de Sistemas atuantes no sistema. Em uma analogia com um circuito formado por tubos interligados a um tanque de forma que água possa fluir pelos tubos enchendo o tanque, como também escoando e fazendo o tanque esvaziar (analogia muito utilizada pelos autores), o “**estoque**” representa a quantidade de água acumulada no tanque. Já os “**fluxos**” consistem na taxa de alteração do estoque. Logo, em qualquer ponto no tempo a quantidade de água no tanque reflete o acúmulo do fluxo de entrada, menos o que está fluindo para fora do tanque. Os estoques e os fluxos representam as “consequências” no paradigma informação/ação/consequência. Apresentam-se quando, por exemplo, dinheiro é transferido, bens são manufaturados, pessoas são recrutadas, sendo que, mesmo em casos psicológicos, sentimentos crescem e decrescem em um sistema particular. Assim, a Dinâmica de Sistemas pode ser empregada tanto em sistemas em que o fluxo identificado é concreto e facilmente mensurável, até sistemas em que o fluxo é abstrato (COYLE, 1996). Os **conectores** consistem em segmentos de curvas terminados em setas que transmitem informações entre variáveis e variáveis, variáveis e estoques, variáveis e fluxos, e estoques e fluxos. As entradas e saídas são representadas por “nuvens” e determinam os **limites do modelo**. Considera-se que a origem, assim como o destino do fluxo desse fluxo não são pertinentes ao propósito de estudo do sistema.

Figura 9 – Linguagem de Fluxo e Estoques para a modelagem estrutural



Fonte: Sterman (2000).

Assim, os estoques acarretam em **níveis**, assim como os fluxos estão relacionados às **taxas**. Estes, níveis e taxas, são fundamentais para a subestrutura de ciclo e são os componentes primários da estrutura do sistema (FORRESTER, 1993). Os níveis e taxas não são distinguíveis pelas suas unidades de mensuração, visto que, por exemplo, a “velocidade” em um determinado sistema pode ser exposta como uma taxa que aumenta a “distância” (sendo então à distância o nível do sistema) ou a velocidade, em outro sistema, pode ser exposta como o acúmulo (nesse caso um nível) da aceleração (neste caso a taxa) (FORRESTER, 1993). Portanto, um componente particular do sistema analisado não tem sua função (níveis ou taxas) no modelo definido pela sua unidade de mensuração. Isto atribui a Dinâmica de Sistemas flexibilidade na abordagem dos problemas frente às possíveis interpretações e pontos de vista para análise do problema.

2.7.2 Testes e validação do modelo

Os testes realizados aos modelos na DS tem a validação do modelo como um processo cujo objetivo consiste em estabelecer confiança tanto na solidez quanto na utilidade deste modelo (FORRESTER; SENGE, 1980). A validação do modelo não é realizada com um único teste visto que a confiança no modelo aumenta gradualmente à medida que o modelo é submetido a diferentes testes e, também, aprimorado por estes testes (FORRESTER; SENGE, 1980). Neste sentido, são aplicados testes qualitativos e quantitativos, ambos importantes para esta validação. Dessa forma, a validação do modelo é um processo que depende do contexto sociocultural em que o modelo foi construído (STERMAN, 1984).

Os testes aplicados ao modelo nesta pesquisa são detalhados nas seções específicas a sua realização. Essas são dispostas no Capítulo 5.

2.7.3 Programa de simulação computacional Vensim®

O VenSim® (marca registrada de Ventana Systems Inc.) é um conjunto de ferramentas para modelagem e simulação computacional¹⁷. Permite criar, documentar, simular, analisar e otimizar modelos de simulação na linguagem da Dinâmica de Sistemas fornecendo uma forma simples e flexível de construir modelos de simulação por diagramas de influência ou diagramas de fluxo e estoque.

No pacote de *softwares* disponibilizado pela Ventana Systems estão: Vensim PLE, Vensim PLE Plus, Vensim Professional, Vensim DSS, *Model Reader* e *Molecules*. O Vensim PLE (*Personal Learning Edition*) é uma versão do *software* de uso exclusivo educacional disponibilizado para *download* gratuito pelo site <http://vensim.com/free-download/>. O Vensim PLE Plus é constituído de todas as funcionalidades do Vensim PLE incluindo ainda: conectividade de dados, múltiplas visualizações, simulação de sensibilidade “Monte Carlo”, simulações de jogos, e interface diferenciada (VENTANA SYSTEM, 2012). Já o Vensim Professional é direcionado para modelos grandes e complexos contendo funcionalidades específicas de análise estrutural e de comportamento do modelo, enquanto a versão DSS ainda permite funções externas e macros para a compilação (VENTANA SYSTEM, 2012). O *Model Reader* consiste também em uma ferramenta de distribuição gratuita que possibilita a visualização de modelos. O *software Molecules*, por fim, é utilizado para a construção de modelos a partir de “blocos” ou “moléculas” de estruturas da Dinâmica de Sistemas.

Para a realização desta pesquisa foi utilizado o software Vensim PLE (versão 6.1). Mesmo limitadas nesta versão as funcionalidades do *software* se mostraram suficientes para a realização desta pesquisa.

¹⁷ O *software* VenSim não é o único software de modelagem pela linguagem da Dinâmica de Sistemas disponível. STELLA, Powersim e DYNAMO são outros três pacotes de softwares usados com frequência em atividades profissionais e acadêmicas.

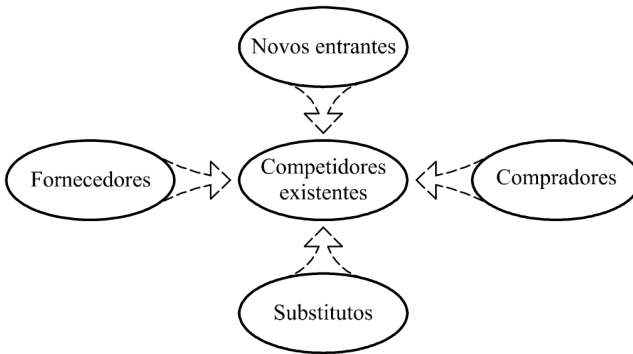
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica aborda os conceitos necessários ao entendimento do trabalho. Para tanto a fundamentação teórica desta pesquisa é dividida em três partes: a fundamentação da gestão conforme a perspectiva sistêmica, a fundamentação teórica geral e fundamentação teórica específica (estado atual do conhecimento). A primeira parte destaca as características da abordagem referentes às implicações da gestão das organizações ou de setores destas organizações frente às considerações sistêmicas. Também faz menção aos trabalhos acadêmicos, publicações científicas e gerais utilizados como referência para o desenvolvimento desta pesquisa. A fundamentação teórica geral trata do tema abordado (o Sistema Produto-Serviço) de forma abrangente. Esse é apresentado salientando a evolução da definição do conceito, são descritos os elementos que o constituem, forma de classificação, considerações e metodologias de desenvolvimento. Também são expostas as características e considerações acerca dos serviços pertinentes a essa pesquisa. Já a fundamentação específica restringe o tema nos tópicos de interesse tendo como início a revisão bibliográfica da literatura. São explicitados os objetivos que orientaram a seleção dos artigos para a formação do portfólio bibliográfico, bem como o próprio portfólio. Assim, a fundamentação teórica específica trata do ciclo de vida do produto no contexto do PSS, da organização do sistema e da sua dinâmica e fatores de influência.

3.1 A GESTÃO CONFORME A PERSPECTIVA SISTÊMICA

A perspectiva sistêmica empregada à gestão implica na consideração da empresa como um sistema aberto, cujo funcionamento depende da sua relação com o mercado. Nesse sentido Porter (2004) ressalta cinco forças que caracterizam a natureza competitiva dinâmica da indústria. Os competidores existentes, os novos entrantes e substitutos, além dos fornecedores e compradores, estabelecem tais forças conforme representado na Figura 10. Dessas forças se originam os requisitos que determinam o desempenho da unidade empresarial em seu meio. Tal desempenho está nas atuações realizadas em nível de projeto do produto e que, como tal, caracterizam o produto em diferentes aspectos (TAGUCHI, 1990). A relação da empresa com o mercado pode se diferenciar em virtude de tendências relativas ao mercado e as estratégias adotadas.

Figura 10 – Forças competitivas



Fonte: adaptado de Porter (2004).

Estabelecendo o foco na unidade empresarial, esta ainda é constituída por outras partes ou elementos (como filiais, departamentos e setores, tecnologias e recursos, entre outros) mutuamente se inter-relacionando. Nesse sentido, a organização pode ser entendida como composta por diferentes níveis sistêmicos, cada um destes é responsável por estabelecer determinados controles no sistema. Conforme Porter (2004) no nível da (i) gestão operacional busca fixar os objetivos da operação de uma forma condizente com os meios que dispõe para o controle da execução. Garante o aproveitamento permanente dos fatores do sistema físico para realizar as tarefas determinadas pela gestão tática. Como característica deste nível podem ser citada o planejamento diário da produção, alocação de uma equipe de trabalho, suprimentos, entre outros, agindo no mesmo ritmo dos fenômenos que controla. Já a (ii) gestão tática fixa os objetivos em um horizonte mais longo englobando atividades como o planejamento mensal da produção, ajuste de orçamentos, ajuste de cronogramas, dentre outros. Ainda a (iii) gestão estratégica concentra-se na ligação da empresa, como unidade microeconômica, e o mercado no qual se insere. Neste nível encontram-se não somente o estudo de novos produtos, os planos de investimentos, a procura por novos mercados, como também as decisões mais macros possíveis relativas a própria existência da empresa (como absorções e fusões); ou seja, decisões que podem transformar radicalmente todo o sistema.

A interação entre essas partes que constituem a empresa e sua própria interação como o meio se estabelece em fluxos de informações ou materiais. Essas interações formam estruturas de ciclos de realimentação sob duas perspectivas: as estruturas em níveis e as estruturas em redes. A estrutura em rede representa a interligação dos elementos que compõem o sistema. Estes elementos também são denominados por subsistemas ou blocos. Nessa estrutura as interações, como fluxos materiais, envolveriam trocas de capitais, ordens, recursos humanos; ou, como fluxos de informações, englobariam pedidos, instruções, além de informações de qualquer natureza (MÉLÈSE, 1973). Já a estrutura em níveis representa a hierarquia dos sistemas. Nesse caso, o termo “hierarquia” não se refere à ordem de importância, mas ao “grau de decomposição do sistema”. Isto porque em um sistema maior, um subsistema pode ser decomposto em sua própria estrutura de blocos e subsistema e suas interações, ou seja, em sua própria estrutura em rede como sistema completo.

Concordante a essa perspectiva sistêmica a Dinâmica de sistemas oferece uma metodologia para a análise de questões importantes aos diversos atores envolvidos no contexto industrial. A seção seguinte expõe trabalhos que empregam tal metodologia e foram utilizados como referência a sua aplicação.

3.1.1 Trabalhos de referência

Os trabalhos utilizados como referência em termos de estrutura e conteúdo empregam a DS também abordando o sistema produtivo. Ou seja, são trabalhos que estabelecem diferentes análises de tal sistema (também de interesse para essa pesquisa) contribuindo de diferentes maneira para a realização da pesquisa. Esses trabalhos são apresentados no Quadro 5 com uma breve descrição do estudo.

Além destes trabalhos Sterman (2000) conduz uma abordagem didática do emprego da Dinâmica de Sistemas em vários aspectos da dinâmica industrial. Essa obra também foi largamente utilizada como referência. Por fim, uma série de artigos e material abordando os aspectos técnicos da Dinâmica de Sistemas é disponibilizada pela divisão de engenharia de sistemas do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT, 1996). Entre estes estão os *Road Maps* que expõem os princípios que orientam a utilização da Dinâmica de Sistemas, tão bem quanto abordam questões técnicas referentes à implementação matemática dos ciclos de realimentação. Os *Road Maps* também

auxiliaram a composição desta pesquisa sendo empregados em tópicos específicos conforme referenciados ao longo do desenvolvimento.

Quadro 5 – Trabalhos de referência que utilizam a DS no sistema produtivo

Artigo	Descrição
Zhai (2004)	O sistema de produção nesse trabalho é abordado com foco na cadeia de suprimentos de um fabricante de equipamentos manufaturados. O gerenciamento dos parceiros dessa cadeia se utiliza da metodologia da dinâmica de sistemas.
Zhang e Dilts (2004)	Os impactos no custo e no desempenho da cadeia para duas estruturas de rede de suprimentos são analisados com o emprego de um modelo da DS para o sistema produtivo.
Fan, Fan e Chang (2010)	Esse trabalho aborda o sistema de suprimento de manutenção de armas militares como uma cadeia de suprimento. São analisados dois fatores em específico: os recursos humanos e o orçamento total disponível. A dinâmica de sistema é utilizada por facilitar a investigação de alternativas estruturais e operacionais no sistema.
Dubelko (2002)	Um aspecto específico de um sistema de produção é abordado nesse estudo. A partir de um comportamento de referência a Dinâmica de Sistemas é utilizada para análise dos custos envolvidos na interrupção e reinicialização uma linha de produção de aeronaves.
Lai, Lee e Ip (2003)	Neste artigo a DS é utilizada para analisar os reflexos do emprego de aspectos do <i>Just-in-time</i> no sistema produtivo.
Kazemi, Eshlaghy e Tavasoli (2011)	Mesmo não detalhando o sistema produtivo em específico esse trabalho é utiliza a DS para a simulação do ciclo de vida para definição de estratégias de atuação no produto. Constitui uma referência tanto na aplicação da metodologia quanto com os aspectos específicos referentes ao produto na dinâmica do ciclo de vida.

Fonte: o autor.

Na sequência o tema da pesquisa é abordado de maneira a expor suas considerações gerais. Os principais autores que abordam o tema são evidenciados nessa abordagem.

3.2 SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO (VISÃO GERAL)

O PSS é apontado como uma estratégia obtida sob a evolução em dois extremos: a “servitização” e a “produtização” (BAINES et al., 2007). A servitização de produtos corresponde ao movimento de agregação de serviços aos mercados que exploravam essencialmente bens tangíveis, enquanto que a produtização corresponde à agregação de bens tangíveis aos mercados de serviço puro.

Ao que se referente às definições atribuídas ao PSS pelos autores, o Quadro 6 apresenta uma relação situada no período do ano de 1999 ao ano de 2010. Desta relação pode-se apontar o PSS como uma estratégia de negócio que se apresenta sob a forma de um sistema e, como tal, conta com seus elementos e suas interações para a viabilização desta estratégia. Esses elementos consistem no bem tangível e no serviço, cuja associação determina o valor entregue pelo PSS, contando também com a infraestrutura necessária a sua realização e uma rede de atores, sendo todos os influenciados ou influenciadores, que conforme suas devidas atribuições são responsáveis pela viabilização do PSS. Com isso o PSS pode ser projetado de forma que a agregação de diferentes componentes de serviços aos bens tangíveis satisfaça as necessidades específicas dos consumidores, sendo assim, uma oportunidade de diferenciação aos fabricantes em relação aos que adotam a estratégia convencional. A combinação dos componentes de serviços aos bens pode conduzir a venda da funcionalidade, e não do artefato físico, conferindo os benefícios ambientais apontados ao PSS. Esses aspectos ressaltados orientam as considerações realizadas sobre o PSS nesta pesquisa.

Quadro 6 – Definições do conceito de Sistema Produto-Serviço

Autor(es)	Definição de PSS
Goedkoop et al. (1999)	“Um PSS é um sistema que abrange produtos, serviços e redes de atores, que são apoiados por uma infraestrutura que busca a competitividade contínua, satisfazendo as necessidades dos consumidores com menores impactos ambientais que as estratégias de negócios tradicionais”.
Centre For Sustainable Design (2002)	“Um PSS envolve produtos e serviços que são apoiados por uma infraestrutura e redes de atores necessárias para atender as necessidades do mercado, com menor impacto ambiental que produtos e serviços separados”.

Quadro 6 – continuação

Mont (2001)	“Um sistema de produtos e serviços, apoiados pela rede de atores e infraestrutura que são projetada para que o negócio seja competitivo, satisfaça as necessidades dos consumidores e tenha menores impactos ambientais que tradicionais modelos de negócio”.
Manzini (2003)	“Uma estratégia de inovação, deslocando o foco do negócio somente da concepção (e venda) de produtos físicos, para a concepção (e venda) de um sistema de produtos e serviços que juntos são capazes de cumprir as demandas específicas dos consumidores”.
Brandstotter et al. (2003)	“Um PSS consiste em produtos tangíveis e serviços intangíveis, projetados e combinados de modo que sejam capazes de cumprir específicas necessidades dos consumidores. Além disso, o PSS tenta alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável”.
Wong (2004)	“Um PSS pode ser definido como uma solução oferecida para a venda que envolve tanto um produto como um elemento de serviço, para entregar a requerida funcionalidade”.
Tukker e Tischer (2006)	“Um PSS é o conjunto de produtos e serviços projetados para atender às necessidades do consumidor”.
Wimmer et al. (2007)	“Um PSS fornece aos consumidores valores funcionais e não funcionais que aumentam a satisfação e reduzem o consumo de materiais e energia”.
Kimita, Shimomura e Arai (2009)	“Um PSS é uma oportunidade de diferenciação para os fabricantes, os quais satisfazem seus clientes de forma individualizada e sustentável”.
Kuo et al. (2010)	“Um PSS melhora a eficiência por meio do serviço e da redução do consumo de recursos e de resíduos com a remanufatura e o reuso de produtos, matérias-primas e componentes”.

Fonte: Baines et al. (2007) (1999 a 2005) ampliada por Beuren, Ferreira e Miguel (2011) (2006 a 2010).

Na estratégia convencional de concepção, produção e venda de bens tangíveis puros o valor entregue concentra-se essencialmente na

venda. Contudo, a agregação de componentes de serviços a esses bens caracteriza a estratégia do PSS pela extensão da entrega de valor ao longo do ciclo de vida (PHUMBUA; TIAHJONO, 2011).

As práticas e estudos relatados na literatura acerca dos Sistemas Produto-Serviço apontam duas principais aplicações deste, sendo estas referentes as relações *Business to Customer*, ou então, *Business to Business*. Nas aplicações em *Business to Customer* ou B2C as relações comerciais são realizadas diretamente entre os produtores e prestadores e o consumidor final, característica destas relações. Neste caso alguns dos segmentos comerciais explorados compreendem a: indústria de mobilidade (WILLIAMS, 2007; MAUSSANG; ZWOLINSKI; BRISSAUD, 2008; KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009; WANG et al., 2011), alimentícia (EVANS; PARTIDÁRIO; LAMBERT, 2007), micro energia (MÜLLER et al., 2009), entre outros. Já nas aplicações em que as relações comerciais ocorrem entre fabricantes e fabricantes em cadeias de suprimentos que caracteriza as relações comerciais *Business to Business* ou B2B o PSS também é referenciado como Sistema Produto-Serviço Industrial (*Industrial Product-Service System* ou IPS2) (RESE; KARGER; STROTMANN, 2009). Em relação ao B2B algumas aplicações do PSS exploram os segmentos de logística (LELAH; MATHIEUX; BRISSAUD, 2011), usinagem (ABRAMOVICI; BELLALOUNA; GÖBEL, 2010), construção de máquinas (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006), entre outros.

3.2.1 Elementos do PSS

A dinâmica do PSS é resultante da interação entre os elementos que o constituem. Sendo assim, o bem tangível, o serviço, a infraestrutura e a rede de atores (MONT, 2004; ALONSO, 2007) podem ser configurados de forma a atender os objetivos do PSS.

3.2.1.1 Bem tangível

No tratamento do PSS por esta pesquisa o bem tangível se refere ao objeto ou artefato físico, artigo ou material central (MONT, 2004; ALONSO, 2007; LELAH; MATHIEUX; BRISSAUD, 2011) ao qual é agregado o valor intangível dos serviços. Portanto, consiste na parte tangível do “pacote de valor” do sistema. Essa parte tangível também é referenciada de maneira simplificada por alguns autores com o uso do termo “produto”. No entanto, como já salientado, o termo “produto” tem sentido amplo podendo ser empregado como referência a um bem

tangível ou intangível (NICKELS; WOOD, 1999). Portanto, essa pesquisa busca estabelecer uma diferenciação entre esses termos.

Em termos econômicos mesmo uma empresa especificamente manufatureira apresenta serviços internos de suporte ao sistema de manufatura. São serviços necessários às operações de manufatura que, nessa pesquisa, estão englobados no sistema de produção e não afetam diretamente a percepção do consumidor.

3.2.1.2 Serviço

O entendimento do termo “serviço” nesta pesquisa está vinculado às definições relativas à gestão das organizações e se refere às operações específicas dos prestadores. Nesse sentido os serviços referem-se às atividades ou satisfação que são ofertadas mediante a compra de um serviço ou vinculadas com a venda de algum bem tangível (LAS CASAS, 1991). É oferecido de uma parte à outra sendo essencialmente intangível e não resultando em propriedade (KOTLER, 1998). Portanto, em contraste com os bens tangíveis, os serviços englobam ações, esforços ou desempenho (HOFFMAN; BATESON, 2002).

Os serviços possuem características específicas. Uma destas, como ressaltado anteriormente, consiste na sua (i) intangibilidade. Ao contrário dos bens manufaturados os serviços não podendo ser possuído pelos consumidores. Também, como destacam Aurich; Fuchs e Wagenknecht (2006), (ii) os serviços não podem ser estocados, sendo consumidos à medida que são entregues. Com a produção ocorrendo ao mesmo tempo em que ocorre o consumo eventuais erros na realização dos serviços podem ser imediatamente percebidos pelos consumidores. Ainda, (iii) os serviços podem ocorrer com interações entre o consumidor do serviço e os atores responsáveis pela prestação. Nesse sentido o consumidor participa do processo passiva ou ativamente estabelecendo, de toda forma, um maior grau de contato entre a empresa e o cliente comparado a produção de bens.

Então, na abordagem ao PSS nesta pesquisa, e sendo o PSS também composto pelo bem tangível (artefato), os serviços correspondem então à parcela intangível do “pacote entregue”. Essa parcela intangível varia em proporção à parcela tangível (conforme abordado na Seção 3.2.2). Pode se constituir em atividades que acompanham o bem tangível até atividades utilizam-se desse bem para entregar uma função ou produzir um resultado.

3.2.1.3 Rede de atores

A rede de atores no PSS é compreendida basicamente pela rede de serviços e pela rede de produção. A **rede de serviços** (ou **rede de prestação** como será referenciada nesta pesquisa) compreende os ramos e localização dos serviços, bem como sua distribuição podendo ou não envolver parcerias. Esta rede é responsável pela entrega regulamentar dos serviços no ciclo de vida do produto. Compreende desde o fabricante visto que este, além da produção dos componentes físicos do PSS, realiza o planejamento das ofertas de serviços complementares. Os “parceiros de serviços” são, então, os responsáveis pela distribuição dos bens tangíveis e prestação dos serviços. Também se enquadram nesta rede os vendedores e agências dos quais o fabricante pode depender em determinados mercados, e, inclusive, podendo envolver concessionários e filiais. E, enfim, os clientes que desempenham um papel importante durante a prestação dos serviços podendo interferir diretamente nestes. Já a **rede de produção**, por sua vez, compreende o fabricante e os fornecedores de peças, componentes, módulos ou subsistemas. É responsável pela produção do bem tangível principal do PSS a um número limitado de locais de produção.

3.2.1.4 Infraestrutura

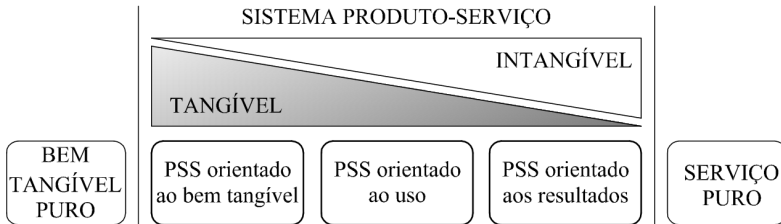
A infraestrutura consiste nos recursos (energia, materiais, espaço, processos, práticas institucionais, entre outros) necessários à implementação do PSS. Um PSS pode utilizar somente a infraestrutura já disponível pelas organizações, mas pode, porém, exigir uma alteração no próprio arranjo institucional (WILLIAMS, 2007). Pode também utilizar uma infraestrutura compartilhada ou, ainda, a infraestrutura pública (como redes de comunicação) (LELAH; MATHIEUX; BRISSAUD, 2011).

3.2.2 Classificação do PSS

De forma geral os possíveis PSS podem ser classificados considerando uma faixa transitória entre dois cenários opostos, um baseado puramente em bens tangíveis enquanto o outro um cenário cuja economia se baseia puramente em serviços (TUKKER, 2004). Essa progressão do bem tangível puro para os serviços puros representa a redução de unidades de material, viabilizada pela agregação de unidades

de serviço na composição da entrega final do PSS. A Figura 11 representa a classificação dos PSS entre esses cenários opostos.

Figura 11 – Classificação do PSS



Fonte: Tukker (2004), tradução do autor.

Em termos práticos essa classificação do PSS categoriza as iniciativas quanto à proporção de representatividade do bem tangível e do serviço no pacote final. A seguir cada categoria do PSS é comentada.

- PSS orientado ao bem tangível: nesta categoria se enquadram as iniciativas PSS cujos serviços oferecidos complementam o bem tangível com a transferência de materiais ou informações entre provedor e consumidor, mas relacionados à utilização do bem. Em muitos casos estes serviços somente viabilizam ou facilitam a própria aquisição do produto. Mas, também nesta categoria encontram-se os PSS cujos serviços ao longo do ciclo de vida se direcionem ao funcionamento do bem tangível na fase de uso ou serviços da fase de fim de vida. Dessa forma no PSS orientado ao bem tangível objetiva-se a venda desse e de serviços que lhe agregam valor, sendo que a posse do bem tangível e conseqüentemente a responsabilidade pelo seu descarte continua sendo do consumidor.
- PSS orientado ao uso: nesta categoria os serviços estão direcionados a disponibilidade ou condições de uso do bem tangível como o aluguel, compartilhamento ou conjugação. O PSS orientado ao uso objetiva a venda da utilização do bem tangível junto de serviços que agregam valor a este. Nesta categoria a posse do bem físico pode ser diferenciada.
- PSS orientado ao resultado: as iniciativas PSS enquadradas nesta categoria oferecem um resultado acordado ou “parcelas” deste, sendo que somente o resultado funcional é negociado e o pagamento efetuado por unidades de uso, ou seja, o relativo ao uso do produto. O resultado ainda é obtido pela interação do bem

tangível com os serviços, porém o produto necessário para a entrega da funcionalidade é definido conforme o planejamento do empreendimento. Nesta categoria encontram-se as iniciativas com um maior impacto no sistema. Também há um grande impacto na estrutura de posse do bem e nas responsabilidades demandadas por esta. Assim, o bem tangível continua pertencendo ao provedor do PSS que também detêm a responsabilidade de descarte do artefato em seu término de vida.

Para exemplificar como podem ser desenvolvidas iniciativas PSS enquadradas nas diferentes classificações citadas o Quadro 7 apresenta alguns exemplos. Todos esses exemplos correspondem à indústria automotiva, ou seja, o mesmo bem tangível (o automóvel) pode estar envolvido em diferentes configurações e abrangências de serviços.

Quadro 7 – Classificação de iniciativas PSS na indústria automotiva

Classificação	Descrição	Exemplo na indústria automotiva
PSS orientado ao bem tangível	Serviços relacionados ao bem tangível – o provedor vende o bem e os serviços necessários durante a fase de uso (como, contrato de manutenção, sistema de financiamento, etc). Assim a posse do bem tangível passa a ser do consumidor.	Contratos de manutenção ou garantia estendida para carros novos;
		Financiamento de veículos;
		Fornecimento de peças de reposição e consumíveis;
		Iniciativas de evolução “ELV”;
		Consultoria – o provedor fornece informações sobre o uso mais eficiente do bem tangível, contudo, esse bem continua de posse do consumidor.
PSS orientado ao uso	Locação de bem tangível – o provedor detém a propriedade do bem e, muitas vezes, é responsável pela manutenção e reparo. O consumidor paga taxas regulares, normalmente para acesso individual e ilimitado ao bem tangível.	Informações de fornecimento de combustível e eficiência energética;
		Informações de desvio de tráfego congestionado.
		Locação de carros ou outros veículos;

Quadro 7 - continuação

PSS orientado ao uso	<p>Partilha do bem tangível – o provedor retém a propriedade do bem e, muitas vezes, é responsável pela manutenção e reparo. O consumidor paga taxas regulares, mas não recebe acesso ilimitado e individual. Assim, o mesmo bem é utilizado sequencialmente pelos consumidores.</p>	Partilha de carros ou outros veículos;
	<p>Conjugação de bem tangível – o provedor retém a propriedade do bem e, muitas vezes, é responsável pela manutenção e reparo. O consumidor paga taxas regulares, mas não recebe acesso ilimitado e individual. Assim, o mesmo produto é utilizado simultaneamente pelos consumidores.</p>	Carros ou outros veículos em uso conjugado;
PSS orientado ao resultado	<p>Pagamento por unidade de serviço – o bem tangível ainda constitui a base do PSS, contudo, o consumidor compra somente a “saída” do produto de acordo com nível de utilização.</p>	Carros ou outros veículos alugados por “pagamento por quilômetro”.
	<p>Resultado funcional – o provedor e o consumidor acordam um resultado final, não sendo especificado como este será entregue. Os bens utilizados para produzir o resultado acordado são de posse e responsabilidade do provedor.</p>	Esquemas integrados de mobilidade e serviços.

Fonte: Williams (2007), tradução do autor.

Williams (2007) aborda o ramo metal mecânico com o segmento automotivo, contudo, a bibliografia traz diversos exemplos que contribuem e ampliam o entendimento de como essa nova estratégia pode ser configurada. No entanto, as características do PSS utilizados nesta pesquisa são agrupadas na revisão bibliográfica específica (Seção 3.3).

3.2.3 Valor no PSS

Toda oferta ao mercado possui um determinado valor agregado orientado a um grupo de consumidores. Nesse sentido os consumidores veem o bem tangível e o serviço como um conjunto de atributos (WOODRUFF, 1997). O valor atribuído por esses consumidores resulta então de sua percepção com a avaliação geral dos atributos presentes no bem e no serviço (KOTLER, 1998), das consequências proporcionadas na utilização do bem (valor em uso) (WOODRUFF, 1997) ou das propriedades funcionais que determinam a utilidade de um serviço. Então, o **“valor percebido” é dado pela percepção do consumidor do conjunto de benefícios (técnicos, econômicos e/ou sociais) referentes ao bem tangível e aos serviços frente a seus objetivos e necessidades em relação aos custos totais (em termos de valores monetários) demandados pela aquisição (compra do produto e/ou contratação dos serviços)**. O valor percebido é influenciado pelos desejos iniciais que o consumidor possui sobre tais atributos e consequências de uso para o atendimento de suas necessidades (a expectativa de valor) construído com base em seus valores e preferências pessoais frente à comparação com as ofertas similares ou concorrentes no mercado.

O conceito de valor também pode sofrer uma declinação referente à perspectiva de análise. No ponto de vista do *stakeholder* responsável pela produção ou prestação a relação com o consumidor resulta no valor entregue (ou fornecido). Nesse caso o valor é dado pela relação do conjunto de benefícios oferecidos por um bem tangível ou por uma função de serviço (constituída pelo conjunto de atividades) em função dos custos totais demandados para a produção do bem e para o desempenho das ações responsáveis pela função de serviço.

Portanto, nesta pesquisa o valor no PSS do ponto de vista do consumidor final se refere ao conjunto de benefícios (técnicos, econômicos e/ou sociais) decorrentes dos atributos do bem tangível e do serviço (abordados em específico na Seção 3.3.5). Os serviços podem então ser empregados para garantir uma disponibilidade de valor quando, por exemplo, o contrato de prestação do PSS inclui condições

de manutenção. Podem também ser empregados para atender certas condições dessa disponibilidade, nos casos em que o consumidor paga pelo direito de uso do valor referente a um produto. Os serviços ainda podem ser empregados para viabilizar a logística da disponibilidade do valor com controles de uso, rastreamento e informação. Sob outra perspectiva o valor entregue pelo PSS também pode se apresentar sob a forma de um resultado no qual o artefato complementa a solução oferecida, dando condições à realização do resultado esperado pelo emprego do serviço. Portanto, se em um PSS o valor total é resultante do valor referente a um bem tangível (X) adicionado do valor referente a um serviço (Y), esse valor pode ser descrito como: a existência de X, quantidade de X, acesso à X, condição de X, direitos de uso de X, sendo X = automóveis (como exemplo) (KIM et al., 2009). Esse valor também pode ser descrito como: deslocamento (sendo este o resultado acordado); mas estando, ainda, condicionado aos aspectos de X (utilizando o exemplo de X = automóveis). Por isso o conjunto de atributos disponibilizados pelo bem tangível, pelo serviço e/ou pela sua interação responsáveis pelos benefícios entregues é referido, nessa pesquisa, como o **pacote de valor**.

Considerando ainda o valor sob uma perspectiva holística e observando a dinâmica do ciclo de vida o valor pode ser representado em uma estrutura sistemática. Essa estrutura não limita o valor a uma utilidade em função de um custo, mas incorpora a condição dinâmica de atuação podendo estabelecer um ciclo que busca o ajuste a um objetivo. A estrutura de criação de valor, representada na Figura 12, estabelece concordância com a perspectiva da organização por níveis sistêmicos, uma vez que cada um destes níveis pode apresentar tal dinâmica.

Figura 12 – Estrutura de criação de valor



Fonte: Stanke e Murman (2002), tradução do autor.

Na estrutura de criação de valor a etapa de “identificação do valor” que corresponde à definição do valor de interesse que, em um nível de empreendimento, é referente aos *stakeholders* envolvidos (sendo que o consumidor final enquadra-se também neste nível). Para tal podem ser úteis: técnicas de pesquisa de mercado, reuniões entre os atores de interesse, análise de cadeia de valor, dentre outros. Já em um nível de operação, na realização do PSS, a identificação de valor pode se dar com a identificação da necessidade de uma determinada atividade não planejada e que complementaria a expectativa de valor do consumidor. A identificação acarreta a “proposição de valor” que engloba o desenvolvimento mútuo dos meios que viabilizem a entrega do valor identificado conforme as características e dimensões do nível sistêmico. Pode corresponder à organização do PSS para atender aos diferentes grupos de consumidores, ou mesmo, a um grupo de trabalho, suas ferramentas e procedimento, destinado à execução de uma atividade de serviço. A proposição do valor está condicionada às possibilidades e interesses dos envolvidos, como também às legislações. E, a “entrega do valor” corresponde efetivamente à operacionalização do planejado. Pode corresponder, de acordo com o nível sistêmico em questão, à entrega do pacote de valor do PSS, ou operacionalmente, à entrega do valor em uso com a aplicação das atividades de serviço junto ao bem tangível.

Portanto, vista a abrangência de possibilidades de “benefícios” que um PSS pode proporcionar devido aos novos arranjos que podem ser desenvolvidos entre o bem tangível e o serviço, o emprego do conceito de valor auxilia o tratamento deste aspecto do PSS. Na fase de desenvolvimento a abordagem de valor pode ser utilizada para viabilizar a consideração dos benefícios adicionais dos serviços (MAUSSANG et al., 2007). Nesse sentido, em uma visão que dispõe o “valor” como o objetivo sistemático de uma dinâmica de identificação, proposição e entrega, a estrutura de “criação de valor” pode viabilizar ou facilitar esse tipo de abordagem ao PSS.

3.2.4 Metodologias e ferramentas para PSS

Este tópico tem a finalidade de estabelecer uma visão geral quanto às metodologias e ferramentas adotadas para o desenvolvimento do PSS. Para tanto é apresentado brevemente a “Metodologia para desenvolvimento de PSS” (*Methodology for Product Service Systems - MePSS*) (VAN HALEN, 2005). Essa metodologia foi possibilitada pelo Suspronet (*Sustainable Product Development Network*), uma rede de

parceiros composta por universidades e empresas privadas integradas pelo *European Community 5th Framework Programme* (FP5) (EUROPEAN RESEARCH AREA, 2012). Este programa atuou em quatro linhas temáticas direcionadas às prioridades da investigação e desenvolvimento tecnológico da união europeia, sendo o MePSS um dos resultados¹⁸. Dentre os PSS desenvolvidos com apoio do MePSS podem ser citados os casos da NorLux Corp (manufatura de componentes eletrônicos), SICK (automação industrial), Ecolab (saneamento e setor de serviços), *Renet* (indústria automotiva), Ashland Inc. (gestão de serviços químicos) e Océ & Xerox (fotocópia e remanufatura); estas na relação B2B. Também em abordagens B2C/B2B ou B2C, os casos de *Black Country ESCo* (setor de energia e habitação), *CALL A BIKE* (mobilidade urbana), Odin (setor alimentício), *Liftshare* (setor de transporte), *Texas Instruments* (setor de comunicação)¹⁹.

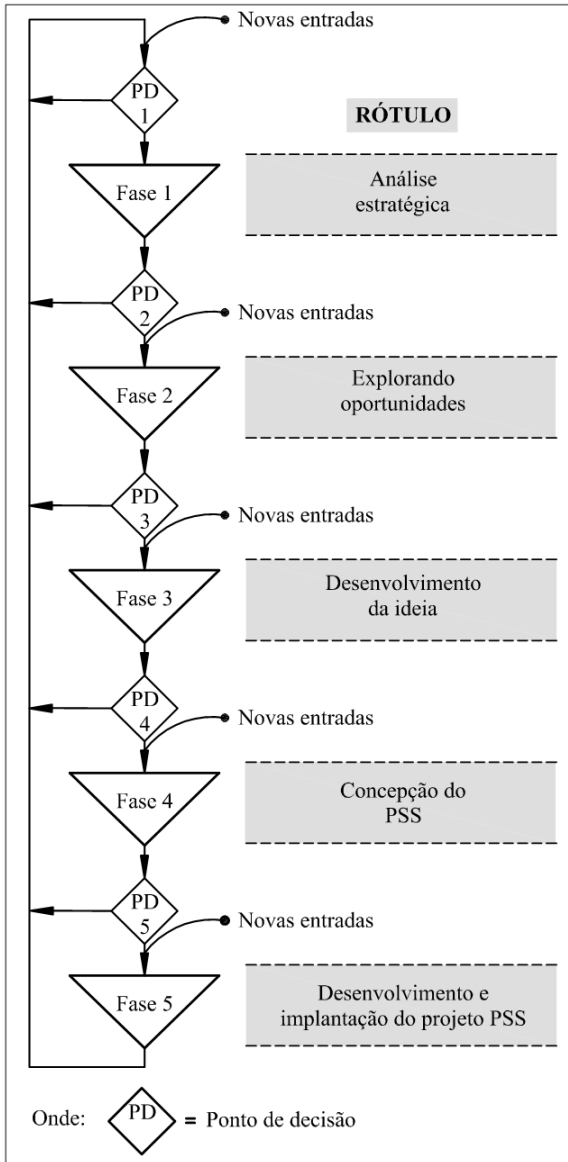
A estrutura geral do MePSS é apresentada na Figura 13, e inicia com a análise do mercado para a identificação e descrição das dinâmicas existentes, a análise estratégica. O objetivo dessa primeira análise consiste em estabelecer a compreensão acerca do sistema atual e explorar as potencialidades de novas dinâmicas do negócio como um todo com o PSS. Também nessa primeira fase é realizado o planejamento do projeto com distribuição das responsabilidades entre os participantes do desenvolvimento. Na fase subsequente (explorando oportunidades) pela compreensão estabelecida na análise estratégica são identificadas as possibilidades e interesses para a obtenção de uma nova dinâmica. Essas possibilidades e interesses referentes às expectativas da rede de fabricação e de serviços para atuação no sistema, bem como as questões sustentáveis julgadas importantes por estes. Este processo é participativo e envolve representantes dos *stakeholders* até então envolvidos no processo. Também são levantadas as necessidades dos grupos de consumidores de interesse sendo que as técnicas tradicionais de pesquisa de mercado, por exemplo, podem não conseguir identificar as semelhanças entre as necessidades de usuários de diferentes contextos

¹⁸ Além do MePSS ainda resultaram do FP5 o PROSECCO (*Product & Service Co-design*), o INNOPSE (*Innovation Studio and Exemplary Developments for Product Service Engineering*) e o HiCS (*Highly Customerised Solutions*) (MANZINI, 2004; MANZINI; COLLINA; EVANS, 2004). Essas metodologias também são citadas na bibliografia especializada.

¹⁹ Detalhes adicionais do MePSS (desenvolvedores e detalhamento da metodologia) e do desenvolvimento dos casos citados podem ser obtidos em MEPSS Webtool, ([2011?]).

(EVANS; PARTIDÁRIO; LAMBERT, 2007). Dados adicionais de consumo contextuais podem alertar os participantes do PSS para possibilidades a serem exploradas pelo empreendimento. Na “Fase 3”, o “desenvolvimento da ideia” é aprofunda a análise da ideia do sistema mais promissora embasada nas decisões estratégicas da empresa e nas saídas da fase anterior. Desse modo, essa fase leva a diferentes alternativas de projeto para o modo como o PSS poderia ser organizado e o valor entregue. Esses diferentes modos são avaliados considerando seus impactos a todas as partes envolvidas (cadeia de valor e clientes potenciais) e nos critérios e metas sustentáveis (em suas dimensões econômicas, ambientais e sociais) considerados, proporcionando condições para a tomada de decisão (PD 4) antes do início do processo de desenvolvimento. Podem ser envolvidos nesta etapa equipes de projeto multidisciplinar e, até mesmo possíveis futuros consumidores. A “Fase 4” do MePSS engloba propriamente o desenvolvimento do PSS a ser implantado fornecendo a versão detalhada e elaborando as especificações para a sua implantação. Para a descrição de um PSS coerente e com potencial de sucesso as atividades de projeto devem ser estritamente integradas com a participação e com a utilização de processos de avaliação da aceitação do usuário (MORELLI, 2006). Em um processo colaborativo são envolvidos profissionais em diferentes momentos conforme as competências requeridas. Esses profissionais abrangem competências distintas e incluem atores internos e externos que serão necessários para a implementação dos componentes PSS. Finalmente, na Fase 5, concluídas as etapas de desenvolvimento, o enfoque torna-se a implementação do PSS. Aqui, conforme a metodologia inicia-se um novo ciclo de gerenciamento de projetos voltado, porém, a sua implementação que excede o abordado pelo MePSS. No entanto, a metodologia MePSS orienta que a empresa deve considerar a implementação do PSS como parte do negócio já existente (aconselhável se o PSS for uma extensão do negócio atual), como um novo negócio (obtendo maiores benefícios caso a infraestrutura empresarial permita), como uma aliança estratégica (havendo interesses mútuos entre as empresas e competências a serem compartilhadas), ou com *Joint Venture* (se um parceiro for necessário para suprir uma determinada competência).

Figura 13 – Etapas do projeto do PSS conforme a metodologia MePSS



Fonte: MEPSS Webtool, ([2011?]).

Sendo, então, o MePSS uma metodologia abrangente, são fornecidos e recomendados métodos e ferramentas para realização dos processos. Ferramentas como a matriz de motivação auxilia a identificação da motivação dos *stakeholders* para a atuação no sistema e os gráficos de radar são muito empregados na avaliação dos impactos ambientais. Contudo, são relatadas no Quadro 8 outras ferramentas disponibilizadas na literatura especializada, algumas resultando de pesquisas a aspectos específicos do PSS.

Quadro 8 – Ferramentas de apoio ao desenvolvimento do PSS.

Referência	Descrição
Morelli (2006)	Conduz uma explanação das relacionando e discutindo as metodologias e ferramentas para desenvolvimento do PSS.
Kimita, Shimomura e Arai (2009)	Desenvolvem uma ferramenta para mensurar a satisfação do consumidor em relação ao valor proposto pelo PSS nos estágios iniciais do desenvolvimento.
Müller et al. (2009)	Propõem uma ferramenta de detalhamento de serviços a ser empregada no processo de desenvolvimento do PSS.
Aurich, Fuchs e Wagenknecht (2006)	Apresentam uma abordagem de projeto sistemático para serviços técnicos de suporte a um bem tangível orientado pelo ciclo de vida, originado da analogia e relação de diferentes métodos multidisciplinares.
Aurich et al. (2009)	Apresentam um método de condução sistemática para a configuração do PSS considerando os aspectos específicos do consumidor, do fabricante e do ciclo de vida do produto.
Abramovici, Bellalouna e Göbel (2010)	Diferentemente das demais ferramentas este trabalho se enquadra no gerenciamento de mudanças nos requisitos inicialmente planejados ao PSS já na fase de realização deste sistema.
Komoto e Tomiyama (2008)	Apresentam o desenvolvimento de um sistema CAD para integração de serviços e simulação do ciclo de vida no desenvolvimento sistematizado do PSS.

Fonte: o autor.

Como o produto desta pesquisa consiste em um modelo de análise dinâmica das influências de agregação dos serviços aos bens tangíveis também contribui no contexto de desenvolvimento do PSS.

Como uma maneira adicional de situar esta pesquisa sob a forma de uma ferramenta de desenvolvimento, se tomada como referência a estrutura da metodologia MePSS, esta corresponderia tanto à Fase 4 quanto à Fase 5. Oferece uma maneira de estimar os reflexos aos produtos de determinadas configurações de serviços na Fase 4, alertando para condições específicas do comportamento do sistema. E, por considerar a etapa de desenvolvimento com influência na dinâmica de realização do PSS na Fase 5 (referente a implantação do PSS) oferece aos desenvolvedores uma perspectiva de atuação no desenvolvimento para ajuste sistemático do valor proposto e entregue.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PSS PARA O ESTUDO (FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ESPECÍFICA)

A caracterização do PSS para este estudo conforme os métodos de pesquisa tem base na literatura vigente. Para orientar a revisão da literatura e possibilitar a interpretação do PSS para sua descrição conceitual no processo de modelagem foram definidos quatro eixos de pesquisa. O primeiro explora o ciclo de vida no PSS de forma a identificar quem são os *stakeholders* envolvidos e como este ciclo de vida pode ser representado. O segundo eixo, com base na visão do ciclo de vida desenvolvida, explora a organização do PSS, ou seja, como os *stakeholders* envolvidos organizam-se para proporcionar a associação entre os elementos de produto e serviço e para o atendimento ao ciclo de vida. Na sequência, o terceiro eixo investiga como ocorre a associação entre os elementos de produto e serviço para a satisfação do consumidor, enquanto o quarto eixo esclarece como ocorre à dinâmica do sistema.

3.3.1 Revisão da literatura e análise bibliométrica

Essa revisão da literatura é, portanto, orientada pelos eixos de pesquisa. Em função da quantidade de informações geradas no processo de revisão os resultados deste são apresentados de maneira resumida. Portanto, estão expostas na sequência as informações fundamentais sobre a definição das palavras-chave e os resultados gerais da seleção e filtragem dos artigos para a composição do portfólio.

3.3.1.1 Palavras-chave definidas

O processo de seleção dos termos para representação dos eixos de pesquisa obteve termos relacionados aos eixos abordados. Verificou-se a

coincidência dos termos para os dois primeiros eixos de pesquisa. Assim, os termos selecionados neste caso buscam trabalhos que agreguem para ambos os eixos. Para o terceiro eixo se mostraram aderentes termos referentes ao desenvolvimento do sistema e mesmo termos referentes ferramentas para a avaliação de aspectos do desenvolvimento. Já para o quarto eixo os termos referem-se à avaliação da associação entre os elementos de bem tangível e serviço visto que muitas pesquisas buscam avaliar o desempenho de iniciativas de PSS. Contudo, ainda se verificou a necessidade de termos gerais na composição das palavras-chave para direcionamento da busca. Nesse sentido foi adicionado um quinto eixo rotulado por “complementar” cujos termos se referem ao tema e objetivos dessa pesquisa. Os termos adotados para representação dos eixos de pesquisa estão explicitados no Quadro 9.

Quadro 9 – Termos de pesquisa

Eixos	Termos
“Primeiro eixo” <i>Stakeholders</i> e ciclo de vida	<i>Service Supply Chain; Manufacture; Customer; Partnership; Life-cycle.</i>
“Segundo eixo” Organização entre <i>stakeholders</i>	
“Terceiro eixo” Associação entre produto e serviço	<i>Development; Requirements; Evaluation; Measurement; Assessment; Value.</i>
“Quarto eixo” Dinâmica do PSS	<i>Dynamic; Performance.</i>
Complementar	<i>PSS; Product Service System, System Dynamics, Service.</i>

Fonte: o autor.

As palavras-chave são formadas com a associação entre os termos de pesquisa. Essa associação abrangeu todos os eixos e resultou em 29 palavras-chave. O Quadro 10 expõe essas palavras junto ao termo condicionante de pesquisa “and” que efetua a associação dos termos. Os termos compostos foram inseridos nas buscas com a utilização de aspas como também é mostrado no quadro seguinte.

Quadro 10 – Palavras-chave de pesquisa

	Termo 1		Termo 2
Palavra-chave 1	<i>Evaluation</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 2	<i>Measurement</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 3	<i>Assessment</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 4	<i>Evaluation</i>		PSS
Palavra-chave 5	<i>Measurement</i>		PSS
Palavra-chave 6	<i>Assessment</i>		PSS
Palavra-chave 7	<i>Development</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 8	<i>Requirements</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 9	<i>Value</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 10	<i>Development</i>		PSS
Palavra-chave 11	<i>Requirements</i>		PSS
Palavra-chave 12	<i>Value</i>		PSS
Palavra-chave 13	<i>Manufacture</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 14	<i>Partnership</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 15	<i>Customer</i>	and	<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 16	<i>“Life cycle”</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 17	<i>“Service Supply Chain”</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 18	<i>Manufacture</i>		PSS
Palavra-chave 19	<i>Partnership</i>		PSS
Palavra-chave 20	<i>Customer</i>		PSS
Palavra-chave 21	<i>“Life cycle”</i>		PSS
Palavra-chave 22	<i>“Service Supply Chain”</i>		PSS
Palavra-chave 23	<i>Dynamic</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 24	<i>Performance</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 25	<i>“System Dynamics”</i>		<i>“Product Service System”</i>
Palavra-chave 26	<i>Dynamic</i>		PSS
Palavra-chave 27	<i>Performance</i>		PSS
Palavra-chave 28	<i>“System Dynamics”</i>		PSS
Palavra-chave 29	<i>“System Dynamics”</i>		<i>Service</i>

Fonte: o autor.

A definição das palavras-chave é um importante resultado do processo da revisão da bibliografia. Na sequência também são ressaltadas as bases de dados e os principais resultados do processo de filtragem dos artigos.

3.3.1.2 Portfólio bibliográfico

As bases de dados consideradas mais alinhadas ao tema abordado forneceram o banco de artigos brutos para a filtragem no processo de seleção. Essas bases de dados são explicitadas no Quadro 11 que mostra a contribuição de cada base para este banco de artigos. A quantidade total de artigos adquiridos foi considerável, contudo o processo de filtragem reduziu este montante ao portfólio final.

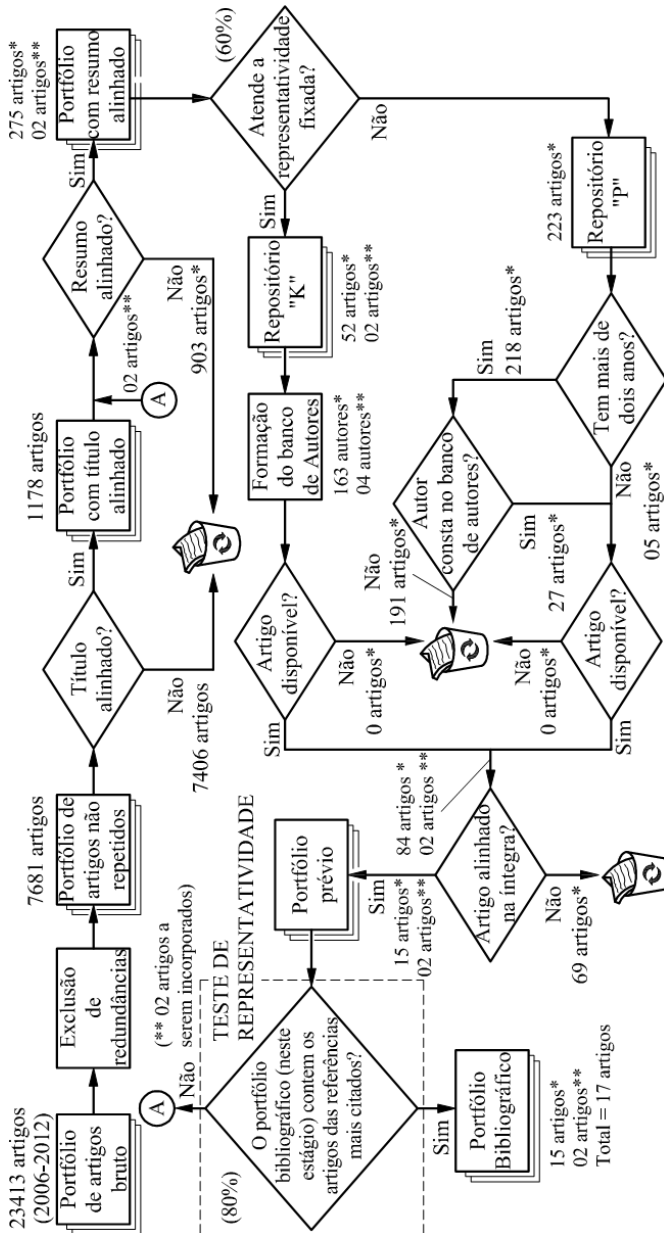
Quadro 11 – Contribuição das bases de dados para o banco de artigos brutos

Bases de dados	Artigos
Scopus	9.833
<i>Web of Knowledge</i>	7.024
<i>ScienceDirect</i>	2.575
Ebsco	1.639
<i>Engineering Village</i>	1.404
Emerald	938
Total	23.413

Fonte: o autor.

O processo de seleção, filtragem e composição do portfólio final favorece a sistemática e a visibilidade desta atividade. Nesse processo de seleção a filtragem quanto ao período de análise restringiu a amostra no período de 2006 até a data da coleta de dados (Maio de 2012). Para a filtragem quanto ao reconhecimento científico foi utilizada a ferramenta de pesquisa “Google Acadêmico” determinando o número citações de cada artigo ainda na amostra. Para tal o reconhecimento científico foi fixado em 60% do total de citações do portfólio em processo. Um portfólio prévio de 15 artigos foi construído, contudo, com o teste de representatividade fixado em 80% do total das citações das referências do portfólio prévio um novo ciclo do processo foi conduzido (ciclo A). Com esse processo um portfólio final é construído, sendo formado por 17 artigos. Com referência a representação gráfica desse processo de seleção já apresentada na seção referente aos métodos de pesquisa a Figura 14 ilustra o fluxo em termos de quantidade de artigos resultante de sua aplicação.

Figura 14 – Resultados do processo de revisão da bibliografia



Legenda:

* artigos referentes ao 1º ciclo

** artigos adicionados no 2º ciclo com o retorno (A)

Dentre os 17 artigos integrantes do portfólio final um deste tem origem na “*Conference on Life Cycle Engineering*” não se tratando, portanto, de um artigo publicado em periódico científico. Esse trabalho, Aurich, Schweitzer e Fuchs (2007), foi evidenciado quando da verificação das referências dos artigos ao longo do processo de seleção. Um dos autores deste trabalho também consta na autoria de outros dois artigos integrantes do portfólio, enquanto os outros dois autores também participam da autoria de mais um artigo integrante do portfólio cada. Ou seja, esses autores podem ser considerados representativos para este conjunto de artigos. Este trabalho está alinhado com a pesquisa no que se refere ao tratamento do ciclo de vida no PSS, sendo inclusive publicado em uma conferência com este enfoque. Além disto, sua representatividade em termos de quantidade de citações frente aos demais artigos do portfólio é considerável como será mostrado nas seções seguintes. Por esses motivos esse trabalho foi mantido na composição do portfólio final.

O portfólio bibliográfico resultante é apresentado no Quadro 12. Neste também se salienta a principal contribuição de cada artigo para a investigação desta pesquisa.

Quadro 12 – Portfólio bibliográfico de base para a pesquisa

Referência	Contribuições à pesquisa
Aurich, Fuchs e Wagenknecht (2006)	Contribui com a representação do ciclo de vida no PSS e evidencia fatores atuantes nesse.
Maxwell, Sheate e Van Der Vorst (2006)	Auxilia na compreensão da configuração do ciclo de vida no PSS
Morelli (2006)	Auxilia na compreensão dos <i>stakeholders</i> envolvidos para o sucesso da implantação do PSS.
Aurich, Schweitzer e Fuchs (2007)	Contribui com a representação do ciclo de vida no PSS e evidencia fatores atuantes no sistema.
Evans, Partidário e Lambert (2007)	Fornecendo evidências empíricas dos fatores envolvidos no sistema e da configuração da rede de atores.
Aurich et al. (2009)	Contribui com a compreensão da estrutura exigida a um PSS.
Bianchi et al. (2009)	Avalia a dinâmica de implantação do PSS como estratégia de mercado e a transição deste. São disponibilizados fatores (do meio inserido) que influenciam o sistema.

Quadro 12 - continuação

Kimita, Shimomura e Arai (2009)	Fornece uma visão referente ao consumidor sobre os aspectos do PSS que influenciam a satisfação com o valor entregue.
Rese, Karger e Strotmann (2009)	Contribui com a estruturação do PSS e com a consideração do valor.
Abramovici, Bellalouna e Göbel (2010)	Fornece fatores responsáveis pelo desencadeamento do comportamento dinâmico do PSS a nível operacional.
Ceschin e Vezzoli (2010)	Contribui com a compreensão dos fatores de sucesso do PSS.
Richter, Sadek e Steven (2010)	Contribui com uma visão das consequências da extensão da rede de criação de valor
Geng et al. (2011)	Auxilia no entendimento de como o PSS pode atuar na satisfação do consumidor
Lelah, Mathieux e Brissaud (2011)	Fornecendo dados empíricos da configuração da rede de atores.
Phumbua e Tjahjono (2011)	Contribui com uma síntese dos fatores que desencadeiam o comportamento dinâmico do PSS.
Wang et al. (2011)	Propõe uma perspectiva de desenvolvimento modular do PSS contribuindo como as considerações sobre a interação entre o bem tangível e o serviço (e entre os <i>stakeholders</i>).
Yoon, Kim e Rhee (2012)	Contribui com o ponto de vista do consumidor na avaliação do PSS.

Fonte: o autor.

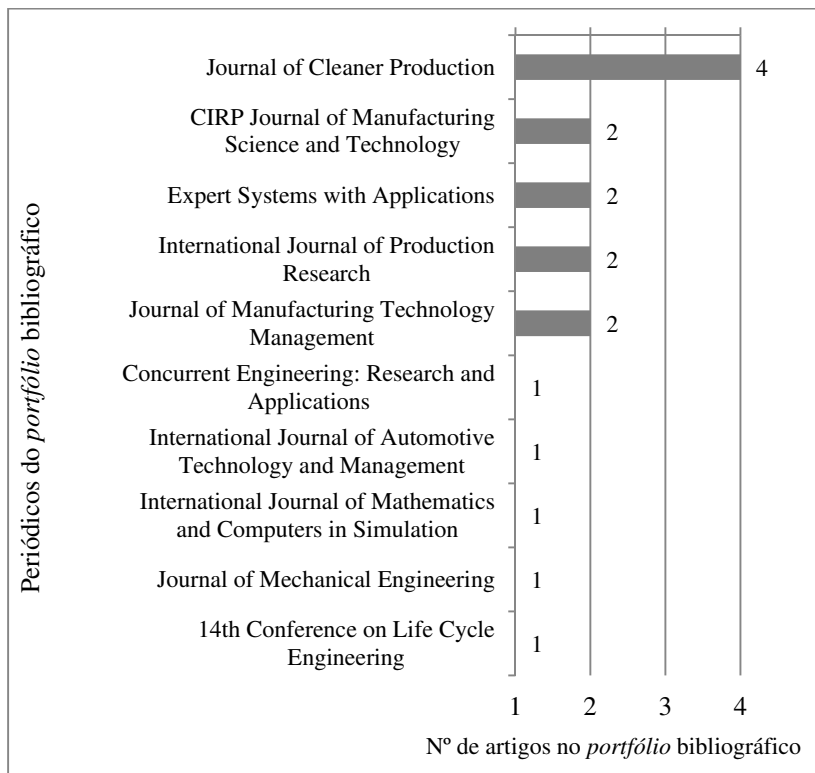
Com isto está formada a base para a fundamentação específica conduzida na sequência. Ainda, antes dessa fundamentação, uma breve análise bibliométrica do portfólio construído é realizada para se estabelecer uma visão mais ampla de certos aspectos dos artigos deste portfólio.

3.3.2 Análise bibliométrica

A visão geral estabelecida por esta análise bibliométrica é direcionada para evidenciar certos aspectos dos artigos integrantes do portfólio bibliográfico. Como salientado na seção referente aos métodos empregados a esta pesquisa a análise engloba o grau de relevância dos periódicos e o reconhecimento científico dos artigos.

O grau de relevância dos periódicos do portfólio bibliográfico é obtido utilizando o número de artigos (integrantes do *portfólio*) publicados no periódico. A Figura 15 mostra o periódico “*Journal of Cleaner Production*” em destaque com quatro artigos integrando o *portfólio*. Ainda outros quatro periódicos científicos são destacados com a contribuição de dois artigos cada para o portfólio bibliográfico.

Figura 15 – Grau de relevância dos periódicos do portfólio bibliográfico.

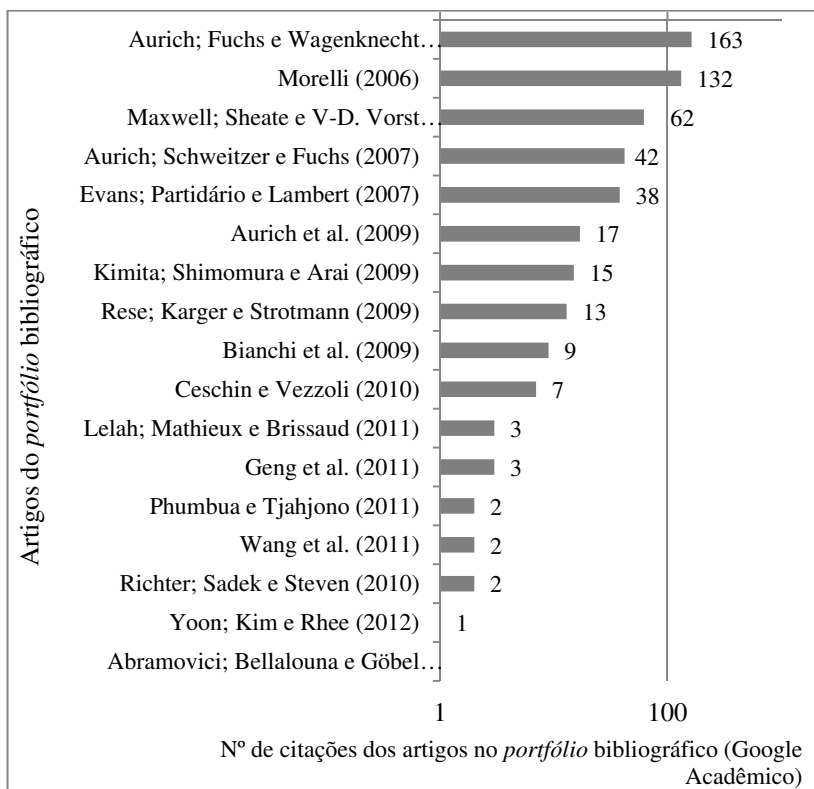


Fonte: o autor.

O reconhecimento científico dos artigos integrantes do portfólio foi identificado por meio do número de citações que o artigo recebeu, determinado com auxílio do Google Acadêmico em março de 2012. Pela Figura 16 é possível constatar que os artigos (1) e (2) concentram 57% do total de citações dos artigos do *portfólio* bibliográfico. De maneira geral os artigos mais antigos possuem um maior número de citações em

relação aos artigos publicados posteriormente. Apenas um artigo não apresenta citações, contudo esta não é especificamente uma condição para sua integração ao portfólio. O processo de seleção dos artigos do portfólio bibliográfico visa auxiliar a obtenção de artigos alinhados ao estudo em específico, visto que artigos mais recentes podem ainda não apresentar um grande reconhecimento científico.

Figura 16 – Reconhecimento científico dos artigos integrantes do portfólio bibliográfico.



Fonte: o autor.

Ainda se ressalta que participaram para a elaboração dos trabalhos que integram o portfólio um total de 53 autores. Destes, “Aurich, J. C.” participou de três artigos do portfólio e os autores “Evans, S.”, “Fuchs, C.” e “Schweitzer, E.” participaram da autoria de

dois artigos. Já, os demais autores participaram da elaboração de um artigo do portfólio.

A seguir está exposta a fundamentação teórica específica que caracteriza o PSS para esta pesquisa. Esta é composta por tópicos que refletem o interesse do estudo e abordam as questões que orientaram a construção do portfólio bibliográfico.

3.3.3 O ciclo de vida do produto no contexto do PSS

A análise do ciclo de vida do produto no PSS se faz necessária, primeiramente para um posicionamento quanto à interação entre os *stakeholders* e, posterior e conseqüentemente para identificação dos principais fatores que influenciam o sistema. Esta análise é condicionada ao ponto de vista de análise uma vez que as etapas do ciclo de vida são nomeadas conforme os objetivos e o posicionamento do estudo. Contudo, como o PSS engloba múltiplos *stakeholders*, a análise do ciclo de vida pode ser conduzida em diferentes pontos de vista.

De forma mais abrangente certas contribuições do PSS (como o caso dos benefícios ambientais atribuídos a este sistema) somente seriam atingidas se o desenvolvimento do sistema atribuir relevância destas contribuições aos fabricantes, visto que na estratégia de atuação convencional no mercado (de simples venda de produtos) os benefícios financeiros são os motivadores fundamentais. Mesmo que o desenvolvimento do PSS considere a atuação em níveis do sistema que o conduzam a uma nova dinâmica a atuação dos fabricantes e prestadores ainda pode não ser suficiente. Frente a isto políticas públicas são vistas como necessárias para viabilizar empreendimentos desenvolvidos segundo a ótica do Sistema Produto-Serviço (MORELLI, 2006; BIANCHI et al., 2009; CESCHIN; VEZZOLI, 2010). Políticas (econômicas) que estimulem a criação de condições encorajando os fabricantes a atuarem em um contexto de PSS, sensibilizem os consumidores dos benefícios de um consumo sem posse, e que promovam a disseminação de informações e conhecimento de suporte para as empresas (CESCHIN; VEZZOLI, 2010). Nestas considerações a condução da abordagem do ciclo de vida pode auxiliar a compreensão destes *stakeholders* (incluindo então o governo além dos fabricantes e prestadores) acerca da dinâmica do mercado com a “introdução” de empreendimentos baseados no Sistema Produto-Serviço. Isto devido à relevância da compreensão da necessidade de superação da inércia da introdução destes empreendimentos até a obtenção do equilíbrio do

mercado, refletindo assim nas decisões acerca dos investimentos demandados a estes *stakeholders* (BIANCHI et al., 2009).

Já para o contexto interno do fabricante as possíveis configurações do ciclo de vida do produto conforme o interesse de estudo, abordam as etapas necessárias para a realização do bem físico. Estas etapas iniciam com o desenvolvimento que mesmo exigindo a participação conjunta dos *stakeholders* em um processo de desenvolvimento integrado do bem tangível e dos serviços (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006; EVANS; PARTIDÁRIO; LAMBERT, 2007) permanece no domínio das atribuições do fabricante devido a sua maior influência no projeto do produto (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006; EVANS; PARTIDÁRIO; LAMBERT, 2007; AURICH et al., 2009). Nesta etapa estão concentradas as decisões estratégicas relacionadas a toda constituição e dinâmica do PSS, sendo que, somente quando concluída e estando todos os envolvidos de total conhecimento e acordo com suas atribuições o PSS seguirá propriamente para sua “realização”. Na realização do PSS o fabricante então é responsável propriamente pela fabricação do artefato físico, ou seja, pelos processos, competências, recursos e demais demandas necessárias às etapas envolvidas nesta fabricação. Aqui se situam os estágios de desenvolvimento de fornecedores, aquisição de matéria-prima, fabricação dos componentes, controle de qualidade, montagem, teste, remanufatura, entre outras específicas ao PSS desenvolvido.

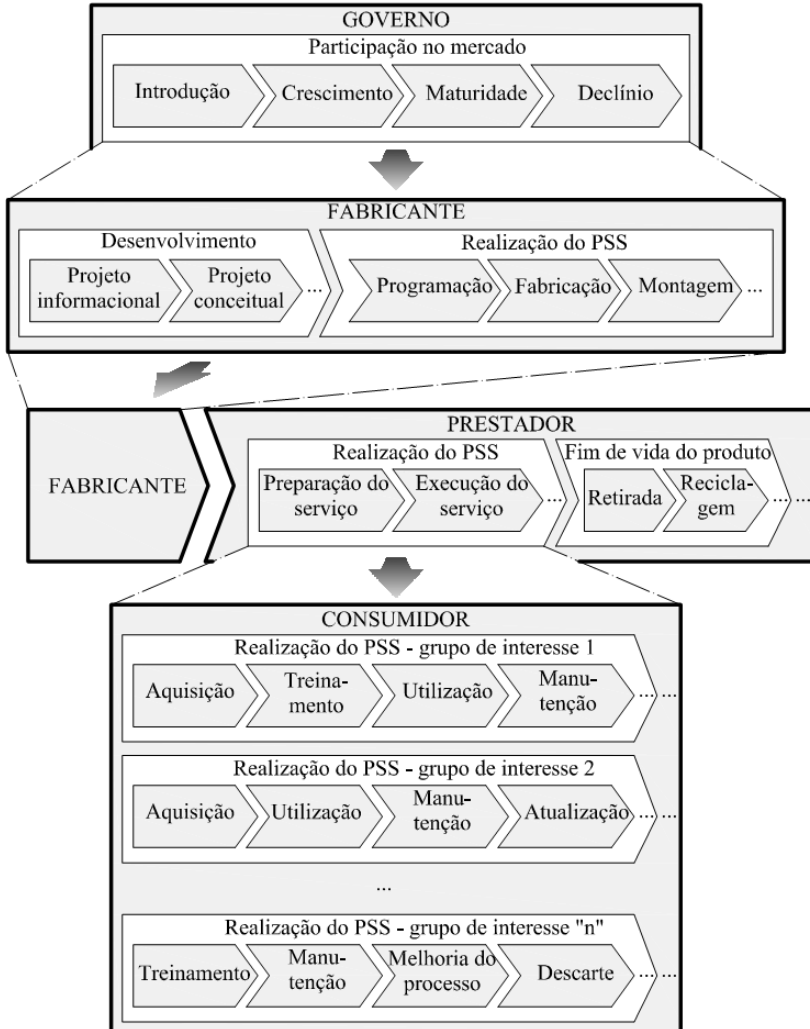
Ainda em relação à realização do PSS, contudo considerando o prestador dos serviços, a perspectiva do ciclo de vida volta-se então as etapas necessárias para a execução dos serviços projetados no desenvolvimento do PSS. Como tal, esses serviços e sua interação com o artefato físico se destinam à entrega da funcionalidade requerida. Dessa maneira o ciclo de vida abordado pode ser constituído das etapas de preparação e execução dos serviços, coleta de dados para melhoria dos processos, interação com o fabricante, entre outras. No caso de serviços técnicos podem ser citados como associados aos produtos a manutenção, atualização, adaptação, recondicionamento, treinamento do usuário e a melhoria de processos (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006). Porém, cada caso de PSS pode demandar serviços específicos como, por exemplo, os serviços de venda ou logística.

A etapa de execução dos serviços é de grande importância para o sucesso do PSS, visto que é nesta execução que ocorre a interação com o consumidor. Como consequência a atribuição de valor do consumidor (e

sua aprovação) interfere diretamente na aceitação dos módulos de serviço e na condução do PSS como um todo (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). Devido a isto o consumidor final também é visto como um importante *stakeholders* envolvidos no PSS (BIANCHI et al., 2009; KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009), inclusive ainda na etapa de desenvolvimento uma vez que o contexto social e cultural no qual o PSS se insere influencia na dinâmica deste sistema (MORELLI, 2006). Portanto, sua perspectiva quanto ao ciclo de vida do produto também precisa ser considerada, sendo que esta é constituída fundamentalmente pelas etapas referentes à aquisição (incluindo a própria decisão de aquisição), utilização (podendo ser desmembrada em etapas específicas conforme o desenvolvimento do PSS e sua consideração das necessidades específicas do consumidor) e descarte (AURICH et al., 2009). Contudo, como particularidade do PSS devido à adição dos serviços aos bens tangíveis e da flexibilidade de fornecimento destes serviços o Sistema Produto-Serviço possibilita o atendimento a necessidades específicas de grupos de consumidores (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006; EVANS; PARTIDÁRIO; LAMBERT, 2007; AURICH et al., 2009). Ou seja, é a perspectiva das necessidades específicas de cada grupo de consumidor que determina os ciclos de vida correspondentes a estes; ou os objetivos e limites do sistema de prestação (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). Assim, as diferentes composições dos ciclos de vida atendendo a necessidades específicas atribui ao PSS sua característica de personalização do atendimento das necessidades.

A Figura 17 representa uma possível caracterização dos ciclos de vida conforme os pontos de vista relacionados aos *stakeholders* citados. Entretanto, essa ilustração não busca prescrever a constituição destes ciclos de vida uma vez que cada uma das etapas citadas pode ser subdividida em sub etapas constituindo, em si só, uma análise em um nível sistêmico abaixo. Mas, estabelece uma visão abrangente das possíveis considerações do ciclo de vida em função dos diferentes níveis sistêmicos que o PSS é composto.

Figura 17 – Desdobramento do ciclo de vida do produto conforme o ponto de vista dos stakeholders



Fonte: o autor.

Fundamentalmente, para este estudo, o desdobramento apresentado na Figura 17 representa as perspectivas dos ciclos de vida do produto direcionadas à entrega do valor para os grupos de interesse que consistem nos consumidores finais. Nesse sentido a configuração

específica do ciclo de vida direcionado a um determinado grupo de interesse engloba módulos de serviços específicos influenciando na organização do PSS.

3.3.4 Organização do PSS

Uma vez exploradas as possíveis configurações do ciclo de vida do produto no Sistema Produto-Serviço uma definição sobre a organização entre os envolvidos neste sistema da sequência à condução do estudo. A organização refere-se ao arranjo necessário para a produção dos bens e prestação dos serviços, como tal, depende de como os bens tangíveis e serviços podem ser configurados e associados.

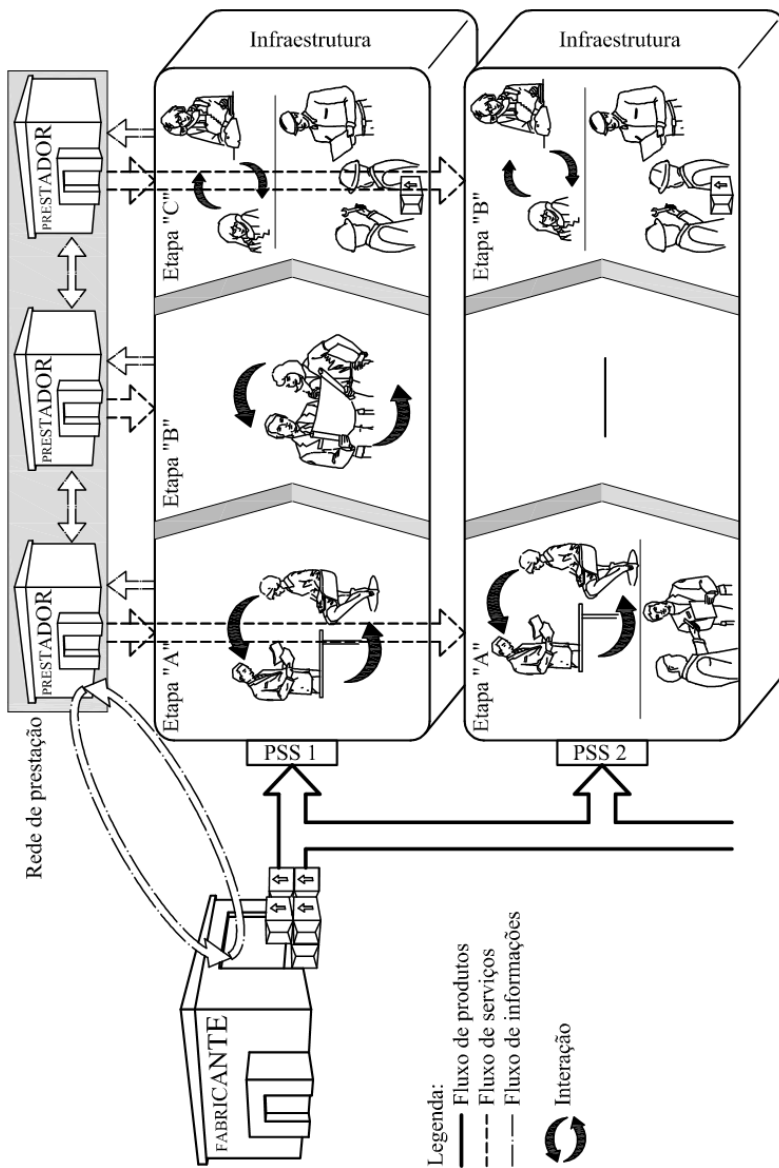
Na configuração do bem tangível, visando sua associação aos serviços, a estratégia de plataformas representa um importante facilitador. A estratégia de plataforma consiste no desenvolvimento de um artefato (ou partes do artefato) cuja arquitetura permita variações (EVANS; PARTIDÁRIO; LAMBERT, 2007; WANG et al., 2011). Traçando um paralelo com a estratégia de mercado convencional baseada na simples venda de produtos um segmento que explora a concepção de produtos conforme a estratégia de plataforma é o segmento automotivo. Neste segmento o projeto do produto é realizado de forma que alguns componentes principais sejam comuns a mais de um modelo de automóvel como é, por exemplo, o componente “chassi”. Ou seja, muitos modelos de automóveis compartilham o mesmo componente em suas configurações de montagem sendo, no entanto, produtos direcionados a segmentos de mercado distintos ou que atendem necessidades diferenciadas dos consumidores. Mas nestes casos de fabricantes convencionais a estratégia de plataforma é utilizada como recurso para implementação de estratégias organizacionais não necessariamente envolvendo outras organizações (EVANS; PARTIDÁRIO; LAMBERT, 2007). No PSS essa estratégia é utilizada com o objetivo de agregar aos bens tangíveis componentes (ou módulos) de serviços (o conjunto de serviços que resultam no ciclo de vida direcionado ao grupo de interesse).

Nesse sentido, as configurações dos serviços sendo realizadas de forma a se estabelecer a interação com o bem tangível tornam o PSS capaz de fornecer uma ampla gama de soluções. Dessa forma a consideração acerca dos serviços nesta pesquisa considera (como observado anteriormente) um elemento do sistema potencialmente entregue por diferentes atores e integrados pela arquitetura de plataforma. A estratégia de plataforma estando associada aos módulos

de serviços possibilita estabelecer um arranjo integrando múltiplos atores na rede de prestação destes serviços aumentando, assim, “extensão da cadeia de valor”. Com isso, diferentemente dos produtos que são fabricados em um determinado momento (como um evento do sistema), os serviços são entregues sucessivamente ao longo do ciclo de vida (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006). Então a atuação ou não atuação de um dos atores deste arranjo (ou seja, a entrega ou não de um serviço) que corresponde a uma etapa do ciclo de vida do PSS diferencia os ciclos de vida. Isto determina, por sua vez, quais e quantos grupos de interesse específicos serão atendidos pelos ciclos de vida individuais.

A Figura 18 representa a organização de um PSS genérico conforme as considerações explicitadas. Os diferentes ciclos de vida mostrados suprem as necessidades específicas dos grupos de consumidores, representados pelo “PSS1” e “PSS2. O fluxo de bens tangíveis tem origem com o fabricante, sendo distribuídos aos diferentes grupos. Neste fluxo de bens incidem os serviços em suas sequências determinando os ciclos de vida, cujas etapas nesta representação correspondem aos módulos de serviços. Assim, os diferentes ciclos de vida diferem entre si pelos módulos de serviço agregados a estes. Esses módulos de serviços resultam dos fluxos de serviços representados com origem na rede de prestação, sendo que, nesta figura o prestador é representado de forma individual (um provedor para cada módulo de serviço), contudo é possível que diferentes serviços sejam entregues pelo mesmo prestador (na mesma unidade ou por diferentes unidades operacionais). Ainda, outra característica evidenciada na Figura 18 consiste em que a realização (ou entrega) dos serviços ocorre, muitas vezes, com a interação e participação do consumidor. Proporcionada por esta interação também é representado um fluxo de informação de *feedback* com a rede de prestação e de interação com o fabricante. Este fluxo de informação é estabelecido pela infraestrutura do sistema (LELAH; MATHIEUX; BRISSAUD, 2011) e possibilita a adequação desse sistema.

Figura 18 – Organização do PSS



Fonte: o autor.

Fundamentalmente na Figura 18 é representado que o sistema de produção está associado ao sistema de prestação de serviços. Pelo ponto de vista do fabricante seja por um único ciclo de vida ou por uma “diversificação do valor” entregue por diferentes ciclos de vida. No ponto de vista do prestador a demanda pelo serviço associado ao bem tangível também pode ser dado de diferentes formas. Como exemplo na consideração de serviços técnicos, um serviço de treinamento demanda uma determinada quantidade de horas de prestação por produto potencialmente entregue em uma única prestação por consumidor. Já um serviço de manutenção poderia ter um “regime” de entrega que exija a reaplicação do serviço em um intervalo de tempo, distribuindo a capacidade de atendimento do prestador desse serviço em relação à quantidade de consumidores utilizando o sistema e favorecendo uma demanda mais constante ao prestador.

Ainda sob essa perspectiva mesmo um único ciclo de vida pode resultar em configurações específicas em relação à extensão da rede de criação de valor. Assim, nessa pesquisa são exploradas as implicações da agregação de um módulo de serviço genérico, desenvolvendo uma visão geral dessa associação. A relação entre a dinâmica de produção e prestação pode ser generalizada pela “quantidade de horas de prestação de serviços” necessária a um módulo específico de serviço por “unidade de bens tangíveis” utilizados pelo sistema. Ou ainda, ao invés de “unidades de bens” determinados sistemas podem requerer a utilização de “tempo de uso do produto” ou “quilômetro percorrido” ou outras unidades referentes à utilização do bem (AURICH; SCHWEITZER; FUCHS, 2007).

3.3.5 Associação entre os elementos de bem tangível e serviço

Vista a organização que integra o fabricante ao prestador e a possibilidade do atendimento pelo PSS a diferentes necessidades de grupos de consumidores o foco deste tópico recai na interação entre os elementos de bem tangível e de serviço. A interação ou participação do consumidor na prestação dos serviços condiciona a aceitação do PSS à obtenção do estado de satisfação²⁰ desse consumidor (BIANCHI et al., 2009; KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). Portanto a interação com o consumidor tem na passagem de um estado inicial do receptor para um

²⁰ A satisfação é um julgamento do consumidor das características dos atributos referentes ao bem tangível ou ao serviço, ou do próprio bem ou serviço prestado ou em prestação (OLIVER, 1997).

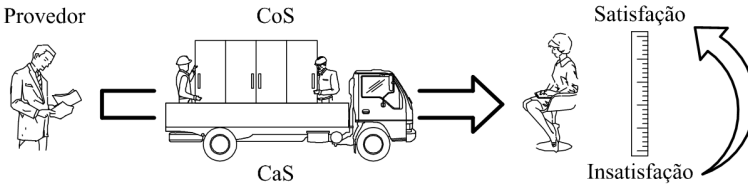
determinado estado desejado (o estado de satisfação) para que os serviços sejam considerados aceitos (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009; YOON; KIM; RHEE, 2012). A disciplina de engenharia de serviços aborda as condições em que tal interação é efetuada quando da prestação.

Conforme a engenharia de serviços o estado de satisfação do consumidor é representado pelo “parâmetro de estado do receptor”²¹ (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). Como os serviços podem ser constituídos de várias atividades e cada uma contando ainda com seus procedimentos específicos e desempenho planejado, cada serviço pode ser representado por um conjunto de parâmetros de estado do receptor. Em vista disto, uma etapa de suma importância no desenvolvimento de serviços consiste na coleta e tratamento dos dados que refletem os desejos e preferências dos grupos de consumidores alvo. Ou seja, os parâmetros de estado do receptor estão relacionados aos requisitos dos consumidores. Nesse sentido são empregadas ferramentas específicas para a identificação dos requisitos (e da qualidade requerida para esses requisitos) buscando, por vezes, envolver o próprio consumidor ainda no processo de desenvolvimento do PSS.

Para a condução do receptor para um estado de satisfação cada parâmetro de estado do receptor é influenciado pelo “conteúdo do serviço” (CoS) e pelos “canais de serviço” (CaS) (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). O “conteúdo do serviço” influencia os parâmetros de estado do receptor de forma direta e pode envolver materiais, energia ou informações (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009) entregues por ações, esforços ou desempenho. Os “parâmetros de conteúdo” definem, então, o conteúdo de cada serviço. Contudo, os serviços precisam ser transferidos, amplificados e controlados, sendo essas as atribuições dos canais de serviços. Dessa maneira, os canais de serviços influenciam os parâmetros de estado do receptor indiretamente e são definidos pelos “parâmetros de canal”. A Figura 19 representa pictoricamente o conteúdo e o canal de serviço sob a percepção do receptor e seu objetivo de conduzir esse receptor a um estado de satisfação.

²¹ Outros termos podem ser utilizados para representar as preferências do consumidor e a correspondência do produto e do serviço a essas preferências como pode ser visto com Geng et al. (2011).

Figura 19 – Influência do conteúdo e dos canais de serviço na satisfação do receptor

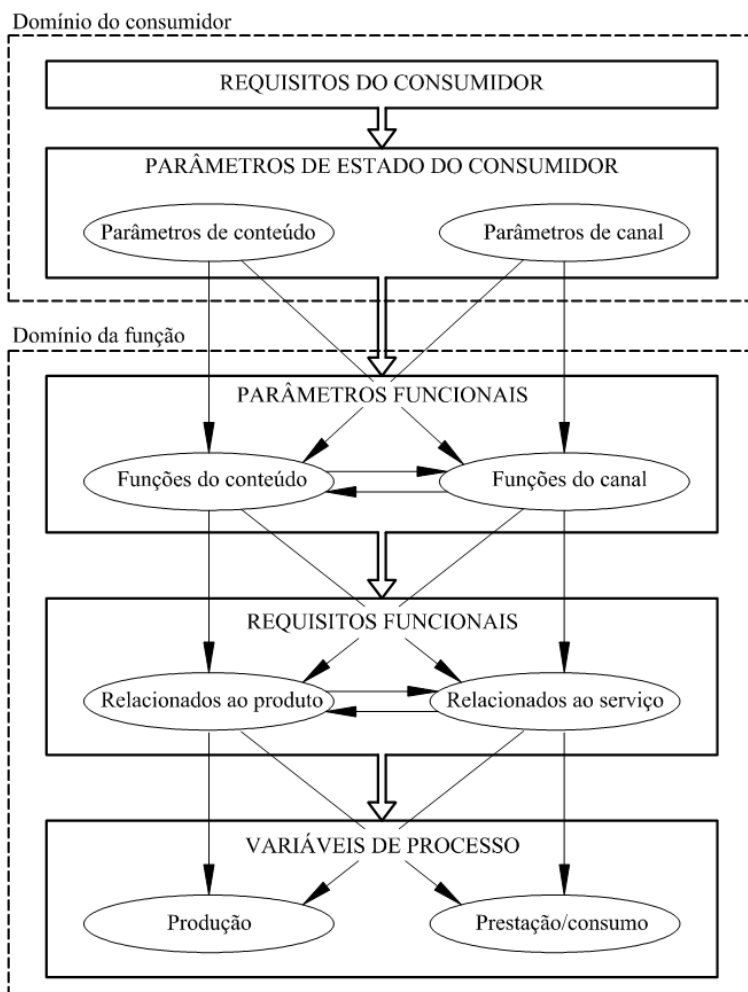


Fonte: Kimita, Shimomura e Arai (2009).

As várias funções que integram cada conteúdo e canal de serviço são dadas pelos “parâmetros funcionais” (PF). Logo, os PFs que influenciam diretamente os parâmetros de estado do receptor pertencem ao conteúdo do serviço, enquanto os PFs dos canais de serviço influenciam os parâmetros do consumidor indiretamente. Para esses parâmetros são elencadas as questões referentes à qualidade englobando considerações referentes a custos, restrições físicas, posição do serviço no mercado e viabilidade do provedor (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009).

Esses parâmetros, por sua vez, podem ser convertidos em requisitos funcionais referentes tanto ao bem tangível quanto ao serviço. O domínio da função envolve a inter-relação entre as funções do artefato e as funções do serviço (GENG et al., 2011). Nessa linha os requisitos proveem ao desenvolvimento do bem tangível a orientação de modo que as características desse produto (geométricas, dimensionais, estéticas, dentre tantas) contemplem e atue nos parâmetros funcionais, tanto os originados pelos parâmetros de conteúdo quanto de canal. E, são por esses “requisitos funcionais” que as soluções de projeto podem levar o produto a intervir nas “variáveis de processo” do PSS. Essa breve descrição ilustra como um processo pode conduzir as preferências do consumidor até os requisitos e parâmetros que definem as funções do artefato físico e do serviço (de modo direto pelo conteúdo ou indireto pelos canais de distribuição de serviços) e sua influência nas variáveis de processo. A Figura 20 ilustra esse processo de transformação de informações direcionado a relacionar os elementos de bem tangível e serviço no PSS.

Figura 20 – Processo de transformação da informação no desenvolvimento do PSS.



Fonte: Elaborado com base em Kimita, Shimomura e Arai (2009) e Geng et al. (2011).

Conjuntamente à obtenção das informações em níveis coerentes às atividades no processo de desenvolvimento a correlação dos requisitos funcionais com o fator “qualidade” e seus custos exigidos complementa a abordagem com foco no valor entregue pela associação do bem com o serviço. Muitas abordagens focam nos aspectos referentes

à qualidade do produto. Também abordagens específicas fazem referência ao tratamento da qualidade em serviços²² e sua influência no consumidor. E, também como já mencionado, ferramentas voltadas à mensuração da qualidade englobando o artefato físico e o serviço nos estágios de desenvolvimento do PSS também são disponibilizadas pela bibliografia especializada. Nessa linha de argumentação esses são os principais fatores que influenciam o estado de satisfação do consumidor no PSS.

Essa perspectiva de abordagem para associação entre esses elementos do sistema complementa o conduzido até então nesta fundamentação. Mas, ainda na sequência é explorada como se dá a dinâmica do Sistema Produto-Serviço.

3.3.6 Dinâmica do PSS

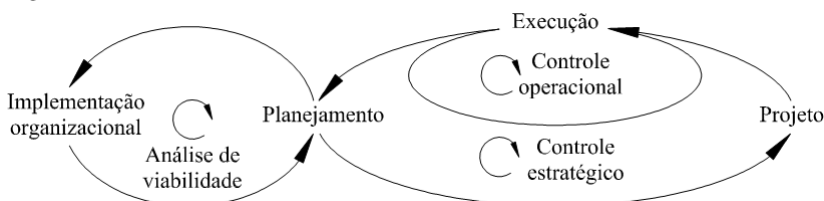
A etapa de realização do PSS é caracterizada pelo dinamismo do comportamento do sistema, uma vez que está sujeito às interferências externas (ABRAMOVICI; BELLALOUNA; GÖBEL, 2010; PHUMBUA; TJAHJONO, 2011). Esse dinamismo é uma condição intrínseca aos sistemas e se faz presente no PSS adequando sua configuração planeja para uma configuração condizente as condições efetivamente exigidas com a atuação no mercado. Por consequência, a capacidade de adaptação do sistema é a condição tanto para uma rápida quanto para uma melhor resposta para as mudanças do ambiente.

Essa característica dinâmica do PSS se apresenta, inclusive, em diferentes níveis sistêmicos como é ilustrado na Figura 21 que representa o PSS simplificadamente pelo nível sistêmico operacional e estratégico. Conforme essa figura a adaptação operacional concentra-se na execução das atividades do PSS, assim como a adaptação estratégica

²² A qualidade em serviços como fator de influencia na percepção do consumidor, conforme Parasuraman, Berry e Zeithaml (1988), pode ser agrupada em cinco dimensões. Os (i) “aspectos tangíveis” referentes às condições dos canais de serviços, infraestrutura e recursos necessários. A (ii) “confiabilidade” relacionada confiança e exatidão na prestação, ou seja, serviços realizados no prazo e corretamente. A (iii) “responsividade” que corresponde ao fornecimento do serviço prontamente e, também, à disposição em auxiliar os clientes. A (vi) “segurança” que engloba o conhecimento necessário para a execução dos serviços (competências), cortesia, respeito e comunicação efetiva. E a (v) “empatia” que corresponde a demonstrar atenção e interesse ao consumidor de forma personalizada. A empatia engloba a acessibilidade, sensibilidade e esforço no atendimento das necessidades.

envolve um replanejamento e a revisão do projeto; sendo que, externa ao sistema a adaptação estratégica envolve a reanálise da viabilidade das condições de adequação ao meio. Mas, a Figura 21 também indica que a característica dinâmica de realimentação de informações responsável pela adaptação do sistema a um nível operacional reflete-se também no nível estratégico, podem influenciar os fatores específicos deste nível e, dessa forma, promover uma adequação a uma nova condição.

Figura 21 – A dinâmica do PSS nos níveis sistêmicos.



Fonte: Adaptado de Aurich; Schweitzer e Fuchs (2007).

Dessa maneira, cada nível sistêmico do PSS apresenta um comportamento o dinâmico de identificação, proposição e entrega de valor. Contudo esse comportamento é diferenciado em cada nível, pois está sujeito estruturas e fatores atuantes (tanto internos ao sistema quanto externos) específicos (podendo perfeitamente um nível sistêmico superior influenciar um nível inferior, como o estratégico ao operacional e vice-versa). Mas isto também se deve a questão temporal do paradigma sistêmico, visto que o tempo decorrente entre a ação gerada e a consequência observada difere nos níveis hierárquicos. Portanto, se faz necessário abordar especificamente os aspectos de interesse para a análise dinâmica do PSS.

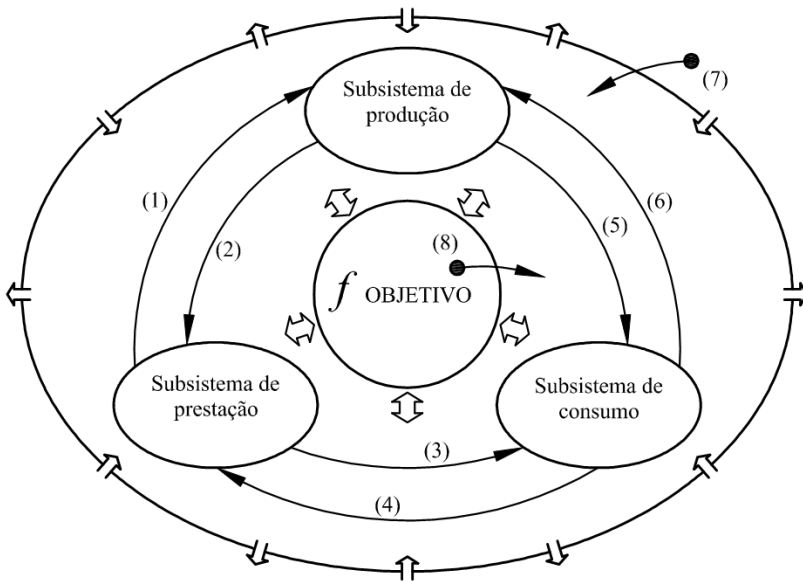
Essa abordagem sobre a dinâmica do PSS completa a fundamentação teórica específica. O tópico seguinte tem base no que foi abordado nessa fundamentação expondo os subsistemas, em uma linguagem condizente com os termos da Dinâmica de Sistema, e salientando os fatores de influência a serem utilizados na modelagem.

3.3.7 Subsistemas e principais interações

Concatenando o abordado nesta fundamentação específica e delimitando a análise deste estudo acerca do PSS são ressaltados principais subsistemas envolvidos na agregação de serviços aos bens tangíveis. Para tal, sob a perspectiva do fabricante a agregação de

serviços aos bens implica na extensão do ciclo de vida tradicional por uma rede de extensão de criação de valor. Nesta rede atuam os prestadores de serviços em um arranjo de maneira a complementar o pacote de valor a ser entregue com a parte intangível desse valor. A aceitação dos serviços e, portanto, do pacote de valor entregue pelo PSS, está condicionada a condução do consumidor do serviço a um “estado de satisfação”. Com isso, a interação entre esses três *stakeholders* (fabricante, prestador e consumidor) delimita as fronteiras desta análise. Ou seja, para este estudo específico a integração de serviços ao bem tangível é abordada englobando três subsistemas denominados: produção, prestação e consumo. Esses subsistemas são apresentados na Figura 22 conforme a visão sistêmica. Nesta consideração, o comportamento no tempo do sistema é dado pela interação entre esses três subsistemas atuando para a criação e entrega (e consumo) do pacote de valor. A Figura 22 representa simplificada essas interações entre os subsistemas (1 a 6), a influência do meio externo (7) e a própria influência dos fatores internos (8) ao sistema na dinâmica resultante.

Figura 22 – Subsistemas e interações



Fonte: o autor.

Na sequência cada subsistema é descrito de modo a expor de que se constitui e o que representa para o sistema. Após a explanação acerca dos subsistemas são abordadas as interações ressaltadas (conforme o Quadro 13).

3.3.7.1 Subsistema de produção

Essa pesquisa é direcionada a compreensão do contexto ao qual o produto é inserido quando o fabricante atua em um Sistema Produto-Serviço com o intuito de prover subsídio ao desenvolvimento desse produto. Contudo, pela diversidade e flexibilidade característica dos serviços o PSS pode apresentar uma abrangência tal que compreenda um extremo no qual o emprego do artefato físico pode se dar somente como suporte as atividades de serviço. Nestes casos o desenvolvimento do produto ainda pode ser específico a dinâmica do PSS, demandando também considerações no desenvolvimento referentes a tal contexto, visto que mesmo nestes casos o valor total entregue pelo PSS também está condicionado ao bem tangível. Porém, pode não apresentar uma demanda ao sistema produtivo capaz de inserir o fabricante no contexto de atuação, sendo então as atividades de serviço o único foco na “dinâmica” da entrega de valor. Essa condição de demanda ao sistema produtivo independe da orientação do PSS. Mesmo em um PSS orientado ao resultado (geralmente havendo um emprego mais intenso dos serviços) as decisões estratégicas que orientam o início do desenvolvimento do PSS podem induzir uma demanda ao sistema produtivo incorporando o fabricante na dinâmica de realização do PSS. Ou seja, mesmo em sistemas que o uso do produto se faz, por exemplo, de forma compartilhada e a venda se dá por unidade de uso a agregação de um maior número de usuários sustenta a demanda ao sistema produtivo. São nestas situações em que o sistema produtivo “alimenta” a estrutura de entrega de valor do PSS com o fornecimento contínuo de artefatos e/ou partes deste (como elementos de reposição) que o fabricante está sujeito aos reflexos do ciclo de vida pela influência dos serviços de forma significativa no sistema produtivo. Assim, esse trabalho com foco no fabricante contempla esse *stakeholder* a partir das novas condições que se apresentam uma vez que o sistema produtivo está sujeito a condições não comuns em uma situação de atuação orientada ao artefato puro.

Nesta pesquisa o subsistema de produção engloba a energia, as instalações, máquinas, equipamentos, e toda a infraestrutura demandada, os materiais, componentes e/ou insumos consumidos pelo sistema, as

tecnologias exigidas, as competências necessárias, bem como processos e políticas de controle. Portanto, o sistema produtivo consiste em todos os elementos atuantes, assim como todos os recursos requeridos visando a confecção dos bens tangíveis (como a parte tangível da entrega de valor) e sua disponibilização para a utilização no PSS. Nesse contexto também se situam os serviços internos necessários ao suporte das funções de manufatura que não são abordados diretamente. A atuação do fabricante é contextualizada por evidências empíricas como com Evans; Partidário e Lambert (2007), e abordada também em processos de desenvolvimento como com Aurich; Fuchs e Wagenknecht (2006) e Aurich et al. (2009).

3.3.7.2 Subsistema de prestação

O sistema de prestação se refere aos elementos que viabilizam e realizam a entrega regulamentar do valor proposto pelo PSS na extensão do ciclo de vida. Por isso realizam os serviços planejados para o ciclo de vida em conjunto com o bem tangível. No ponto de vista estabelecido da estrutura do PSS o subsistema de prestação complementa o subsistema de produção pela adição da parte intangível do valor decorrente das atividades, ações e desempenho. Essas podem acompanhar o produto como pode ser visto com Evans; Partidário e Lambert (2007), ou se utilizar dele para entregar uma função ou produzir um resultado como exemplificado por Lelah; Mathieux e Brissaud (2011). No caso da ocorrência da interação com o consumidor no PSS, seja o consumidor final ou um ator integrante de uma cadeia de suprimento (em B2B) isto se dá pelo subsistema de prestação.

Esse subsistema pode englobar equipamentos de apoio e/ou materiais que podem ser consumidos no processo de prestação de serviços como, por exemplo, ferramentas empregadas e mesmo os produtos lubrificantes aplicados em um procedimento de manutenção. Esses são chamados de “bens facilitadores” e não compõem o produto propriamente do PSS. Também concentra as instalações, sua quantidade e localização, os recursos e competências, políticas, processos, procedimentos. Portanto, o subsistema de prestação complementa o subsistema de produção por meio dos elementos atuantes e dos recursos requeridos visando à entrega do valor.

3.3.7.3 Subsistema de consumo

Juntamente ao emprego das atividades de serviço está no subsistema de consumo a atribuição da condição de aceitação dos serviços e, como tal, do valor entregue pelo PSS. Engloba, portanto, os aspectos relacionados à como se dá a percepção do consumidor quanto ao valor entregue pelo PSS e determina seu estado de satisfação. Nessa percepção atuam então o serviço com suas características específicas e o bem tangível. Dessa maneira, a satisfação do consumidor não está baseada somente nos atributos funcionais, estéticos, ergonômicos (e demais atributos) como também nas características dos serviços. O bem tangível, por sua vez, pode intervir tanto no conteúdo do serviço quanto nos canais de transferência, amplificação ou entrega deste conteúdo.

Assim, a inclusão do subsistema de consumo no estudo do contexto do PSS é necessária. Ademais a consideração deste subsistema é possível uma vez que a satisfação é mensurável por ferramentas específicas, tornando possível aos desenvolvedores, não somente identificarem os parâmetros que influenciam na satisfação do consumidor, como também estimar a qualidade requerida a cada característica do serviço e do bem tangível orientada pelos parâmetros de estado do receptor.

3.3.7.4 Interações entre os subsistemas

São identificadas preliminarmente conforme a fundamentação as principais interações entre os subsistemas e a influências dos meios internos e externos. Dessa maneira, é estabelecida uma referência aos processos de construção da estrutura do sistema pelas etapas de modelagem. Assim, complementando a estrutura do sistema mostrada na representação simplificada da Figura 22, o Quadro 13 relaciona as principais interações entre os subsistemas. Nesse quadro a numeração das interações, para a correta compreensão e associação com a Figura 22, é coincidente com a mostrada graficamente na figura. Essas relações ressaltadas entre os subsistemas são abordadas especificamente nas etapas de construção do modelo.

Portanto, segundo a perspectiva de análise a principal fator de desencadeamento da atuação mútua entre os subsistemas de consumo e produção, exercendo a necessidade de modificação no estado ou desempenho desses subsistemas, ocorre devido à demanda pelos elementos (6a) (4a). Essa atuação mútua se dá com o subsistema de produção no suprimento do consumo de bens tangíveis e, portanto,

fornecendo ao sistema a “disponibilidade do valor” (2). Dessa maneira a disponibilidade do valor se refere à existência de tal bem referente ao pacote de valor entregue pelo PSS para o atendimento a uma demanda por produtos. Já o subsistema de prestação atua junto ao subsistema de produção para realizar a “adição de valor ao bem tangível” (1) para o complemento do pacote oferecido pelo sistema.

Quadro 13 – Principais influências na interação entre os subsistemas

Interação entre os subsistemas	Principais fatores de influência na interação entre os subsistemas e o ambiente
(1) Prestação/produção	Adição de valor ao bem tangível
(2) Produção/prestação	Disponibilidade de valor
(3) Prestação/consumo	Entrega do valor referente ao serviço
(4a) Consumo/prestação	Demanda por serviços
(4b) Consumo/prestação	Percepção de valor
(5) Produção/consumo	Valor referente ao bem tangível
(6a) Consumo/produção	Demanda por bens tangíveis
(6b) Consumo/produção	Percepção de valor
(7) Influência externa	Fatores de influência na expectativa de valor
(8a) Influências internas	Fatores operacionais e de controle
(8b) Influências internas	Intervenção na qualidade do bem tangível
(8c) Influências internas	Intervenção na qualidade do serviço

Fonte: o autor.

A interação específica entre os subsistemas de prestação e consumo pode ser vista pela “entrega do valor referente ao serviço” (3), atividade de atribuição do subsistema de prestação. Essa entrega está sujeita à “percepção do valor” (4b) que, por sua vez, é atribuída ao subsistema de consumo. Essa é a principal interação entre a prestação e o consumo abordada para a agregação de serviços aos bens tangíveis frente à condução desta pesquisa. Da mesma maneira a interação entre os subsistemas de produção e consumo ocorre com a produção fornecendo o “valor referente ao bem tangível” (5). O valor referente a este elemento também está sujeito a “percepção de valor” (6b).

Adicionalmente, como também está representado na Figura 22 tanto o ambiente interno quanto o ambiente externo exercem influências na dinâmica do sistema. Referente ao ambiente interno questões referentes às decisões das etapas precedentes do próprio processo de desenvolvimento do PSS que consideram as restrições operacionais e as práticas e métodos de controle direcionados à disponibilização e adição

do valor. Portanto essas questões definem os “fatores operacionais e de controle” (8a) dos subsistemas de produção e prestação. Ainda como influências internas a perspectiva de análise admite a atuação das atividades de desenvolvimento como meio de intervenção e ajuste dos aspectos operacionais. Portanto, o sistema em análise também recebe influência de fatores internos ao longo do tempo por meio da intervenção na qualidade do (8b) bem tangível e também do (8c) serviço.

Como salientado até então, esta pesquisa utiliza o conceito de valor pela conveniência à abordagem ao PSS. As abordagens específicas referentes ao tratamento do valor no contexto do PSS assumem diferentes perspectivas. A abordagem de Richter, Sadek e Steven (2010) utiliza esse conceito, focando no contexto interno do fabricante na relação dos benefícios da modularidade de um sistema em função dos custos e do risco do nível de flexibilidade requerido para tal. Já Rese, Karger e Strotmann, (2009) utilizam uma combinação de métodos para estabelecer uma perspectiva do valor oferecido por diferentes configurações do sistema, também considerando a flexibilidade exigida. Essas abordagens contribuem para o tratamento do valor nessa pesquisa, contudo, a perspectiva de abordagem de interesse está no contexto dinâmico de interação do sistema. Portanto, o processo de construção do modelo desenvolvido no capítulo seguinte trabalha a consideração do valor sobre uma perspectiva dinâmica envolvendo os três subsistemas identificados como fundamentais para o estudo. Como proposto, as interações entre os subsistemas ressaltadas nesse tópico orientam a construção da estrutura de fatores do modelo, assunto do capítulo seguinte.

4 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Neste capítulo é desenvolvida a modelagem do contexto do PSS conforme fundamentado no capítulo anterior. Inicialmente o tópico “condução da modelagem” expõe as principais considerações que orientaram os processos de modelagem, os *stakeholders* e os subsistemas englobado no estudo. A compreensão em termos sistêmicos é gerada pela descrição lógica do contexto. Nessa descrição os fatores de influência entre os subsistemas e suas interações são expandidos e explorados de maneira a evidenciar e associar os ciclos de realimentação que conferem as não linearidades do comportamento do sistema e resultando em um diagrama (ou modelo) conceitual. Esse diagrama é convertido para a linguagem de fluxos e estoques para o detalhamento dos fatores de influência no sistema em termos de unidades de mensuração, sua associação para a formação da estrutura responsável pelo comportamento dinâmico e para a inserção das equações referentes à integração matemática entre esses fatores.

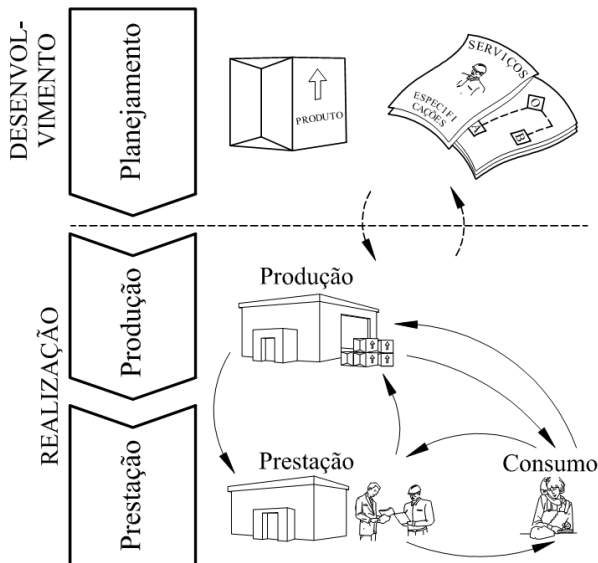
4.1 CONDUÇÃO DA MODELAGEM

A estruturação do modelo se inicia já na definição dos *stakeholders* e subsistemas englobados na caracterização do estudo. Assim, o comportamento no tempo é dado pela interação entre os subsistemas de produção, prestação e consumo, abordados na fundamentação de maneira a relacionar as principais influências na dinâmica desta interação. A Figura 23 ilustra a interação entre os *stakeholders* e, como tal, entre os subsistemas apontados (resgatando brevemente as considerações da Seção 3.3.7). Essa ilustração estabelecida numa visão de processo permite apresentar o contexto a ser representado pela modelagem. Nesse contexto a atuação da atividade de desenvolvimento na correção da qualidade dos elementos também está representada na Figura 23. A modelagem também considera esse aspecto salientado na fundamentação específica.

Na etapa interpretativa de construção do diagrama de causalidade é conduzida considerando a atuação conjunta dos subsistemas de produção e prestação para a na criação e entrega do valor. Na perspectiva sistêmica adotada o fabricante atua para o controle do fornecimento de valor ao sistema, enquanto que o prestador atua para o controle da agregação de valor. O ingresso ao sistema é considerado pela solicitação de produtos e a posterior associação de serviços. O subsistema de prestação, portanto, é visto como um módulo de serviço

possivelmente integrante de uma rede de extensão de valor associado ao produto.

Figura 23 – Estrutura de referência para a condução da modelagem



Fonte: o autor.

Para a construção deste diagrama a representação do subsistema de produção utiliza a estrutura genérica de gestão de estoques²³. A proposição da estrutura para a representação da agregação de um módulo genérico de serviços (o subsistema de prestação) é feita por analogia ao subsistema de produção. O diagrama referente ao subsistema de consumo aborda as considerações acerca da percepção e tem base em modelagens dinâmicas já empregadas na bibliografia especializada. Dessa forma são definidas as constantes e variáveis do modelo para simulação.

Essas são as principais considerações que orientam os processos de modelagem. Com isso se estabelece as condições para a simulação fornecer os cenários para análise do comportamento dinâmico do sistema. Então, nas seções seguintes são descritas a operacionalização

²³ A descrição detalhada e completa da estrutura de gestão de estoques pode ser obtida com Sterman (2000).

da atividade de construção do modelo iniciando pela modelagem conceitual.

4.2 MODELAGEM CONCEITUAL

Os ciclos de realimentação são os elementos básicos empregados na modelagem conceitual de um sistema pelo uso do diagrama de causalidade. Esses ciclos são os responsáveis pela aplicação do paradigma da Dinâmica de Sistemas referente à informação/ação/consequência e, em função disto, são também os responsáveis pela característica de não linearidade do comportamento do sistema (conforme abordado no Capítulo 2). De acordo com o objetivo os ciclos de realimentação integrantes do modelo representam os fluxos (físicos ou não) de interesse para a análise. Eles podem corresponder a um subsistema em específico, ou mesmo, atuar na interação entre os subsistemas.

Na descrição conceitual proposta para o contexto dois ciclos de realimentação principais inserem as atribuições do fabricante do bem tangível e do prestador de serviços na perspectiva de análise. O primeiro, denominado “controle da produção” apresenta o controle do subsistema de produção com a alocação dos recursos produtivos pela observação do nível de estoques²⁴. Esse ciclo de realimentação negativo é descrito detalhadamente na seção seguinte. Já na seção subsequente é apresentado o segundo ciclo, denominado “controle da prestação”. Assim como o ciclo anterior este também tem a alocação de seus recursos, nesse caso os recursos demandados para a prestação dos serviços, como uma função da demanda por esses serviços possibilitando o controle do subsistema de prestação.

4.2.1 Ciclo de realimentação “controle da produção”

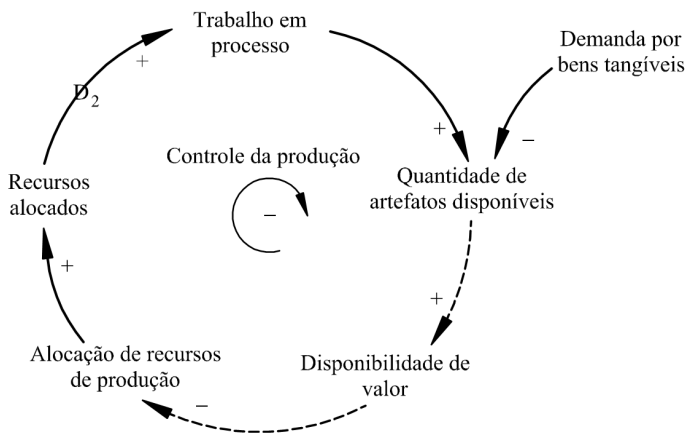
Sendo o subsistema de produção o fornecedor do elemento tangível do valor do PSS, o ciclo de realimentação referente a este subsistema expõe a atuação sistêmica para o controle desse fornecimento. Insere, dessa forma, o *stakeholder* foco (o fabricante) no contexto fundamentado para o ciclo de vida no PSS. Esse controle depende do conhecimento do sistema (constituição e capacidade em

²⁴ Detalhes adicionais referentes à estruturação desta consideração do sistema produtivo em uma abordagem didática e detalhada podem ser obtidos com Sterman (2000).

termos físicos, humanos, tecnológicos, e seus mecanismos de controle como procedimentos e políticas), assim como o conhecimento da dinâmica de abastecimento do sistema pela rede de suprimentos. Portanto a abordagem conceitual ao subsistema de produção condiz com o gerenciamento destes recursos necessários à fabricação dos produtos.

O ciclo de “controle da produção” utiliza o termo “artefatos produzidos” generalizando o bem tangível de um PSS como o resultado do processo produtivo. Em situações práticas uma quantidade mesmo que mínima de estoque de artefatos produzidos pode ser observada e, em muitas situações (principalmente envolvendo produtos industrializados) são de tal monta que demandando custos significativos para sua manutenção. Um nível planejado de estoques de artefatos produzidos permite o atendimento ao sistema sem que ocorram falhas. Em vista disto a manutenção de um nível planejado de estoques de artefatos produzidos é adotada como o meio para que não haja falhas na “alimentação” das estruturas de entrega de valor no PSS. Isto acarreta que a correlação entre a demanda por produtos e a quantidade de trabalho em processo é realizada pelo controle de estoques de artefatos produzidos, ou seja, o objetivo do subsistema de produção consiste em atuar nos recursos para manter um determinado nível de estoques e, portanto, prover a “disponibilidade de valor” referente ao bem tangível. Essa dinâmica de controle é apresentada na Figura 24.

Figura 24 – Ciclo de realimentação “controle da produção”



Fonte: o autor.

A interpretação sistêmica do ciclo de realimentação “controle da produção” pode ser feita considerando, inicialmente, uma redução da variável “quantidade de artefatos disponíveis” ocasionada por um aumento da demanda por bens tangíveis (relação inversa). No controle da produção a redução do estoque de artefatos disponíveis indica que o nível de produção precisa ser adequado à nova demanda. Essa relação estabelece que quanto maior a demanda por bens tangíveis, menor a quantidade de artefatos disponíveis e, portanto, menor a “disponibilidade de valor” referente ao bem tangível para a utilização do sistema. O controle da produção atua então na “alocação de recursos de produção”, sendo quanto menor a disponibilidade de valor mais recursos são alocados ao sistema produtivo para prover sua própria readequação. A “alocação de recursos de produção” condiz com uma das tarefas dos gestores de readequarem os recursos de produção e pode refletir políticas e processos específicos do fabricante. A relação entre essas duas variáveis também é “positiva”, ou seja, quanto maior a “alocação de recursos de produção” maiores as quantidades de “recursos alocados”. Como consequência de mais “recursos alocados” o sistema apresentará um aumento no “trabalho em processo”, sendo sistemicamente, quanto mais recursos alocados mais trabalho em processo no sistema produtivo. Por fim, fechando-se o ciclo de realimentação, a maior quantidade de trabalho em processo acarretará no aumento da “quantidade de artefatos disponíveis”. Do instante de aumento do “trabalho em processo” até que a “quantidade de artefatos disponíveis” também aumente existe uma defasagem de tempo que é característica do sistema. O fluxo do “trabalho em processo” para a “quantidade de artefatos disponíveis” se caracteriza por um fluxo físico de bens nas etapas dos processos produtivos.

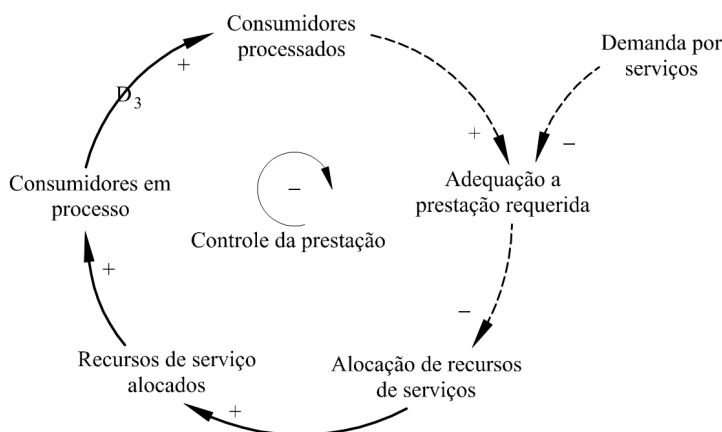
O ciclo de realimentação “controle da produção” consiste em um ciclo negativo. Assim como o sistema produtivo é representado conceitualmente neste ciclo, o sistema de prestação que complementa o controle da dinâmica representada é abordado no tópico seguinte. Como salientado na condução da modelagem o ciclo de realimentação “controle da prestação” é construído considerando o controle da agregação de valor com atuação conjunta no sistema.

4.2.2 Ciclo de realimentação “controle da prestação”

O controle da prestação insere a responsabilidade dos prestadores de serviços no contexto fundamentado para o PSS que consiste em prover o elemento intangível do valor. Para tal, em analogia ao

subsistema de produção o subsistema de prestação também precisa controlar seus recursos humanos, tecnológicos, ou quaisquer outros recursos necessários. O ciclo de realimentação “controle da prestação”, mostrado na Figura 25, expõe a atuação sistêmica para o controle do fornecimento de serviços que, ao contrário da produção de artefatos (na qual a disponibilização desses pode ser vista como um evento do sistema) a entrega de serviços se dá ao longo do tempo. Nesse sentido, o ciclo “controle da prestação” utiliza os termos “consumidores em processo” e “consumidores processados” porque, enquanto a produção transforma o trabalho em processo em artefatos produzidos, a prestação “transforma” os consumidores com uma expectativa de valor em consumidores satisfeitos. Ou seja, na prestação de serviços são “processados” consumidores.

Figura 25 – Ciclo de realimentação “controle da prestação”



Fonte: o autor.

O ciclo de realimentação “controle da prestação”, assim como a produção, também é um ciclo negativo. Mas nesse caso o controle não é dado em função do nível de estoque. Está condicionada à disponibilidade de valor, contudo é orientada pela demanda pelos serviços. Essa demanda provoca um afastamento do nível de prestação requerida ao nível atual (a “adequação da prestação requerida”) e, quanto maior esse afastamento, maior a alocação de recursos de serviços. Com os recursos alocados são admitidos um maior número de consumidores em processo e, dado o tempo necessário para o processamento, um maior número de consumidores processados.

Este ciclo e o ciclo de controle da produção são apresentados novamente no diagrama de causalidade explorado na sequência. Este diagrama estabelece a associação entre esses ciclos e insere os demais ciclos na formalização do contexto.

4.2.3 Descrição conceitual

A descrição conceitual do sistema é formalizada pelo diagrama de causalidade. Esse diagrama explicita o contexto em que o PSS ocorre, conforme essa pesquisa, organizando e apresentando as informações da fundamentação teórica em uma visão dinâmica de atuação. Além disto, o diagrama de causalidade também insere as teorias dinâmicas para a determinação da estrutura do sistema. Ou seja, esse diagrama associa os fatores de forma a representar a relação que caracterizam o modelo.

No contexto descrito pelo diagrama de causalidade, representado por completo na Figura 26, a atuação do subsistema de produção é conduzida pela “demanda de referência”. Essa demanda é um dos fatores exógenos ao sistema. Sua aplicação ao nível de “artefatos disponíveis” do subsistema de produção define o ingresso ao PSS. Portanto, esse ingresso ocorre pela solicitação dos bens tangíveis desencadeada pelo consumidor. O atendimento da demanda de referência pelo sistema produtivo gera uma demanda futura pelos serviços associados. Essa demanda futura é denominada de “demanda por serviços”. Em termos de enlaces causais essa dinâmica é representada por uma defasagem de tempo (D_1) à “demanda por serviços”.

De acordo com o fundamentado e estabelecendo a conformidade com essa etapa da pesquisa o “pacote de valor” é entendido como “o conjunto de atributos disponibilizados pelo bem tangível, pelo módulo de serviço associado a ele e pela sua interação responsáveis pelos benefícios entregues ao consumidor”. Na descrição do sistema, vista a perspectiva e as considerações da análise, a atuação mútua e sistêmica dos ciclos de realimentação de controle dos subsistemas de produção e de prestação tem como objetivo a criação e entrega do pacote de valor proposto pelo sistema²⁵. Assim, a ação desses ciclos está associada aos

²⁵ Essa representação por uma demanda de referência e a consideração do objetivo desse sistema como sendo a entrega de “pacotes de valor” pode gerar uma interpretação ambígua frente a um dos objetivos fundamentais considerado ao PSS, o menor impacto ambiental frente às estratégias convencionais. Contudo, salienta-se que a redução dos impactos ambientais se deve a uma série

fatores “facilidade de obtenção do valor” e “facilidade de consumo do valor”. O emprego destes termos atribui, em uma linguagem conveniente, os reflexos das ações de controle dos aspectos de produção e prestação para o objetivo do sistema. Os ciclos de realimentação dos subsistemas de produção e prestação (apresentados isoladamente nas seções anteriores) são representados de forma simplificada no diagrama de causalidade.

A associação da dinâmica do sistema com o subsistema de consumo na descrição conceitual proposta é estabelecida pela “percepção do valor”. Para tanto essa percepção é segmentada para os elementos de (i) bem tangível e (ii) serviço, componentes do sistema. Associando essa descrição à fundamentação teórica específica referente à interação entre esses elementos, mesmo em sistemas orientados ao resultado em que o produto viabiliza um resultado acordado o bem tangível apresenta aspectos e atributos que influenciam no julgamento do consumidor quanto à sua excelência frente aos seus objetivos e necessidades (a qualidade percebida referente ao artefato físico). Quando esses aspectos e atributos igualam ou excedem as expectativas iniciais (a “expectativa de qualidade do bem tangível”) construídas com base em seus valores e preferências pessoais frente à comparação com as ofertas similares ou concorrentes no mercado tem-se a condução para uma condição de “valor satisfeito (bem tangível)”. Ou seja, o valor satisfeito é a condição para a solicitação de bens ao sistema produtivo e, como tal, para o ingresso no sistema. Essa dinâmica também está descrita sistemicamente na Figura 26 associada ao ciclo de realimentação denominado “controle da qualidade do bem tangível” e com influência direta na “demanda de referência”. Na relação descrita o aumento da “qualidade percebida (bem tangível)” diminui a “diferença entre a expectativa de qualidade e a qualidade percebida”. A redução dessa diferença, portanto, conduz o consumidor à condição de “valor satisfeito”²⁶. Esse ciclo (assim como o seu equivalente para os serviços)

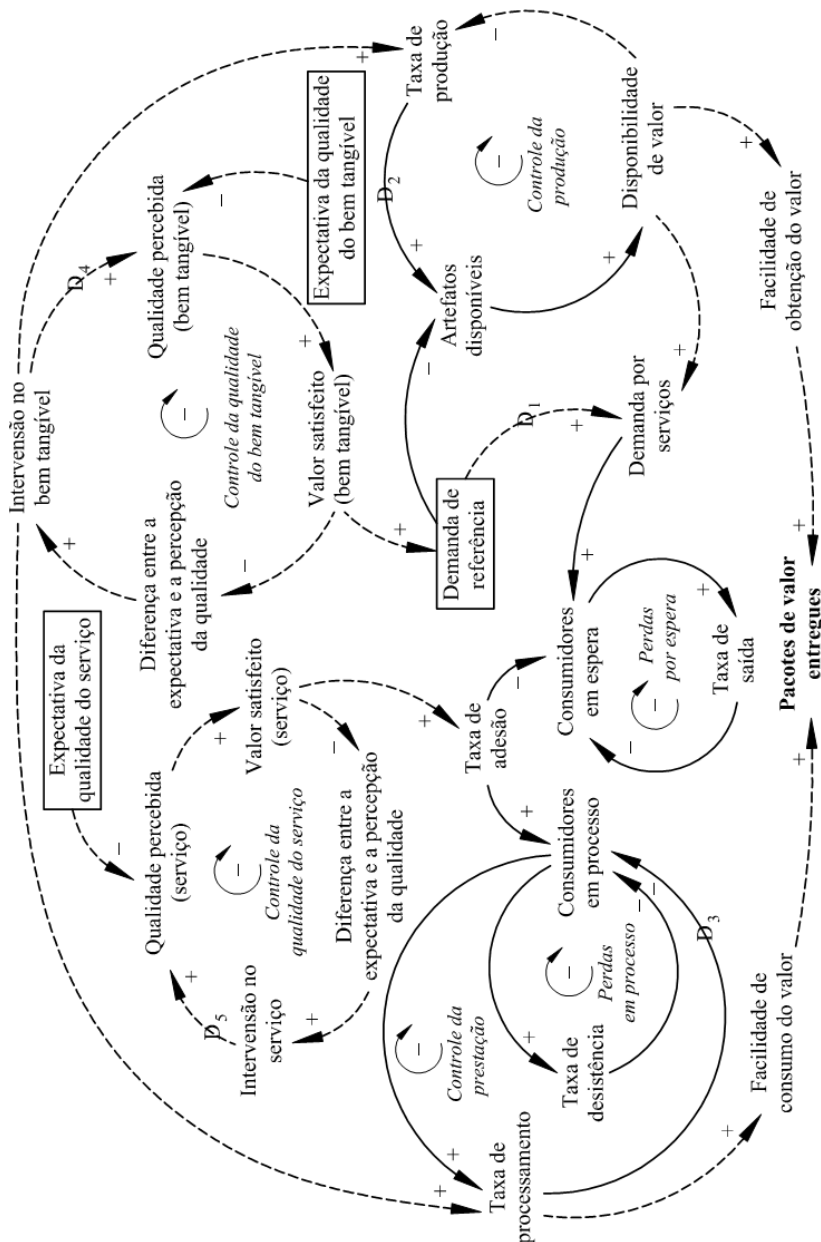
de questões abordadas ao longo de todo o desenvolvimento do contexto e dos elementos do PSS e estimada ou mensurada por ferramentas específicas. Essa representação genérica explora unicamente os reflexos dinâmicos da associação de serviços ao produto em um contexto definido.

²⁶ Essa descrição está conforme a consideração de Kotler (1998) que indica a satisfação como uma função da percepção e das expectativas e também é utilizada na descrição sistêmica por Kazemi, Eshlaghy e Tavasoli (2011). Na descrição referente a esta pesquisa a qualidade percebida já estaria ajustada pelo preço relativo para a composição da percepção do valor como é visto em específico na seção referente às equações do subsistema de consumo.

insere no contexto a atuação da atividade de desenvolvimento como o meio de influência na percepção do consumidor e na operacionalização do sistema.

Ainda na associação dos subsistemas de produção e prestação é admitido que os consumidores, dado o tempo para a adição de valor pelos serviços, aderem ao módulo de prestação por uma “taxa de adesão”. Nesse sentido, da mesma forma que para os bens tangíveis a taxa de adesão é influenciada pelos aspectos das dimensões da qualidade dos serviços conforme a percepção do consumidor (vide Seção 3.3.5) que conduzem a “qualidade percebida (serviços)” para a condição de “valor satisfeito (serviços)”. Ou seja, em analogia aos bens tangíveis, a taxa de adesão tem relação com os aspectos e atributos que influenciam no julgamento do consumidor quanto à sua excelência dos serviços frente aos seus objetivos e necessidades (a qualidade percebida referente aos serviços). Nesse sentido a descrição conceitual segue o considerado para o subsistema de produção. Como pode ser visto na Figura 26, quando a percepção dos aspectos da qualidade referente aos serviços que influenciam as expectativas iniciais referentes a tais serviços iguala ou excede essas expectativas iniciais (construídas com base em seus valores e preferências pessoais frente à comparação com as ofertas similares ou concorrentes no mercado) tem-se a condição de “valor satisfeito (serviço)”. Bem como na consideração do subsistema de produção a possibilidade de atuação da etapa de desenvolvimento na qualidade percebida referente aos serviços também é expressa nas relações causais compondo o ciclo de realimentação “controle da qualidade dos serviços”. A estrutura sistêmica deste ciclo é idêntica ao ciclo de controle da qualidade dos bens tangíveis tendo como diferença a extensão da defasagem de tempo entre a intervenção no artefato ou no serviço e a qualidade percebida relativa a esses elementos. Portanto, na sequência é apresentada a Figura 26 que explicita o diagrama de causalidade por completo expondo e associando os ciclos de realimentação.

Figura 26 – Diagrama de causalidade (descrição do contexto)



As considerações que orientaram a descrição do contexto tem coerência com as características e funções básicas dos serviços técnicos apontados por Aurich, Fuchs e Wagenknecht (2006). Essas características apontam que (i) os serviços técnicos são essencialmente não físicos, (ii) são consumidos à medida que são produzidos (não podendo ser armazenados, e (iii) sua realização requer a integração com o produto. A intangibilidade como característica dos serviços abordados é considerada ainda na fundamentação da pesquisa e ficará evidente na modelagem de fluxos e estoque (já que o fluxo não consiste em materiais físicos) abordada adiante. Já a produção e o consumo simultâneo dos serviços técnicos é representada no contexto uma vez que no ciclo “controle da prestação” o fluxo consiste em consumidores sendo processados (consumidores em processo) por uma “taxa de processamento”. Mas ainda no contexto o fator “intervenção no bem tangível” além de influenciar na qualidade percebida, como já descrito, também tem observada sua associação com a “taxa de produção” e com a taxa de prestação (descrita pelo fator “taxa de processamento”). Essa consideração converge com a integração requerida aos serviços técnicos (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006; ABRAMOVICI; BELLALOUNA; GÖBEL, 2010). Dessa maneira o contexto contempla que a intervenção no bem tangível pode conduzir também a uma maior facilidade de obtenção e de consumo do valor. Nesse sentido se considera que os benefícios referentes ao serviço ocorrem junto ao artefato físico (e, como tal, estabelecendo interação com este) de maneira a maximizar seu desempenho ou complementar a funcionalidade na agregação de valor.

Nessa descrição também são expostos os ciclos de realimentação que representam as possibilidades de falhas ao sistema²⁷ em duas situações. Visto que os consumidores passam a ser efetivamente processados a partir da “taxa de adesão” admite-se a possibilidade de formação de um acúmulo de consumidores em espera. Nesse sentido a “taxa de saída” insere as perdas do sistema em caso de geração de consumidores em espera. Essa perda poderia estar vinculada, por exemplo, ao não atendimento dos prazos contratados, fator salientado por Phumbua e Tjahjono (2011). Sistemicamente quanto mais consumidores em espera, maior a taxa de saída que, fechando o ciclo, reduz o fator inicial de consumidores em espera. Dessa forma esse

²⁷ As taxas de saída e desistência inserem as falhas de desempenho do sistema pelo modelo proposto a exemplo do modelamento conduzido por Bianchi et al. (2009).

também é um ciclo negativo de controle do sistema (denominado na Figura 26 de “perdas por espera”). Da mesma maneira essa consideração é inserida para os consumidores em processo. Esses são reduzidos pela atuação da taxa de desistência. No diagrama causal essa falha é representada sistemicamente pelo ciclo de realimentação negativo “perdas em processo”.

Mas além dos fatores e suas associações os ciclos de realimentação detalhados e o diagrama de causalidade por completo também explicitam as indicações de defasagens de tempo (D_1 a D_5). Essas defasagens correspondentes ao tempo decorrido do início de uma ação e até seu reflexo no sistema. Cada uma destas é definida na sequência.

4.2.4 Defasagens do sistema

Além das interações entre os fatores do sistema as figuras que representam as relações de causalidade (Figuras 24, 25 e 26) também indicam as defasagens²⁸ consideradas relevantes na dinâmica abordada. Essas defasagens são identificadas na Figura 26 como D_1 , D_2 , D_3 , e D_4 e correspondem à:

- D_1 – Essa defasagem corresponde ao tempo decorrido da aquisição do bem tangível até a agregação dos serviços associados. Esse tempo é um fator que pode apresentar muita variação. Para alguns sistemas o serviço associado pode se dar em um tempo relativamente curto após a aquisição como, por exemplo, serviços de entrega ou treinamento. Enquanto para outros esse tempo pode ser maior como serviços técnicos de manutenção programada.
- D_2 – Corresponde ao tempo decorrido da alocação do “trabalho em processo” até a obtenção dos “artefatos disponíveis”. Ou seja, corresponde ao tempo demandado pelas atividades produtivas para a fabricação dos bens tangíveis.
- D_3 – Refere-se ao tempo necessário para o processamento de um consumidor. Corresponde, então, ao tempo demandado para a

²⁸ As defasagens (também chamados atrasos ou *delays*) são uma característica presente em todos os sistemas e caracterizam o seu comportamento. Essas defasagens, como abordado na Seção 2.6, atuam nos componentes de informação/ação /consequência. Determina o quão bem a informação e as ações estão ajustadas influenciando diretamente no comportamento do sistema.

realização das atividades de serviços planejadas para a obtenção do valor entregue pelo sistema.

- D_4 – Essa defasagem representada no sistema se refere ao tempo necessário para que a qualidade percebida pelo consumidor em relação ao produto seja ajustada ao nível corrigido.
- D_5 – Analogamente ao sistema produtivo, este atraso corresponde ao tempo necessário para que a correção da qualidade efetuada nos aspectos e características de serviço seja percebida pelo consumidor.

Além destas outras defasagens poderiam ser apontados como o tempo necessário para a alocação de recursos produtivos ou de serviços. No entanto, essas são as defasagens consideradas mais significantes para esta pesquisa e voltarão a ser abordadas, logo na sequência, de maneira aplicada ao modelamento por fluxos e estoques e equações do modelo.

4.3 MODELAGEM ESTRUTURAL

A estrutura do modelo é construída aplicando o diagrama de fluxos e estoques, pois este relaciona as diversas constantes e variáveis englobadas pelo estudo. A construção desse diagrama é orientada pelo próprio diagrama de causalidade de forma a manter os conceitos representados neste último. O modelo de fluxos e estoques possibilita a implementação matemática além de definir os principais indicadores que representam o estado do sistema.

O diagrama de fluxos e estoques completo do sistema em estudo nesta pesquisa pode ser dividido em três partes correspondentes aos subsistemas de produção, prestação, o consumo. Cada uma destas partes apresenta seus estoques e taxas de fluxos nomeadas de forma a melhor definir sua representação para o modelo. Da mesma maneira as constantes e variáveis são nomeadas buscando o melhor entendimento de sua função no sistema.

4.3.1 Fluxos e estoques no subsistema de produção

No modelo proposto o diagrama de fluxo e estoque que representa o subsistema de produção tem base na estrutura estabelecida para o sistema de gestão de estoques (STERMAN, 2000), utilizado em estudos que abordam o sistema produtivo²⁹. Nessa estrutura a produção

²⁹ Uma vez que a Dinâmica de Sistemas foca no comportamento dos sistemas e sendo este comportamento resultante de sua estrutura, a utilização de estruturas

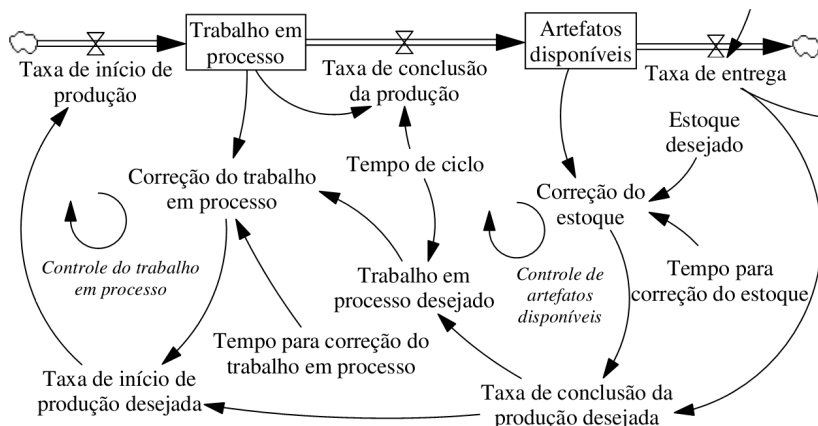
é representada como um conjunto de processos transformando sucessivamente entradas em saídas. Representa, portanto, um fluxo de material pelo processo que se apresenta em diferentes condições e que geram estoques correspondentes aos estoques de materiais aguardando as atividades posteriores do sistema produtivo. Assim, apesar de que o objetivo do subsistema de produção no modelo proposto seja manter um determinado nível de “artefatos disponíveis” aguardando a expedição, os estoques podem se constituir de perfis metálicos adquiridos e aguardando a manufatura, ou componentes comerciais aguardando a montagem.

Nesse sentido a estrutura genérica de gestão de estoques pela linguagem da Dinâmica de Sistemas representa o contexto interno do fabricante por um fluxo de materiais (unidades de materiais) submetido a dois estoques intermediários que correspondem, então, à quantidade de materiais em dois estados: o de “trabalho em processo” e o de “artefatos disponíveis”. O trabalho em processo consiste na quantidade de trabalho alocado a todas as atividades produtivas que se fazem necessárias para a fabricação do bem tangível. Esse trabalho em processo tem como “entrada” os insumos adquiridos da cadeia de suprimentos (insumos tangíveis ou intangíveis necessários para a fabricação do artefato). Assim, as diferentes atividades que dentro da abrangência do PSS e, conseqüentemente, das diversas configurações que o produto pode assumir, são específicas a cada fabricante sendo generalizadas em uma única etapa produtiva como uma etapa genérica do ciclo de vida no contexto do PSS. Fundamentalmente para a reprodução do comportamento de referência para o sistema, o “trabalho em processo” insere a defasagem temporal existente entre a operação de solicitação (emissão de ordens de produção) para abastecer o estoque de “artefatos disponíveis” (que corresponde ao estado final em que o material se apresenta na estrutura) e a ocorrência desse evento. Esses estoques são influenciados pelas taxas e fatores de influência que constituem a estrutura de decisão que governa os níveis de estoques. Nessa estrutura o estoque de “trabalho em processo” é controlado pela “taxa de início de produção” e pela “taxa de conclusão da produção”, e o estoque de

genéricas para diferentes estudos é muito empregada nos diagramas de fluxos e estoques. O emprego da estrutura genérica de gestão de estoques em pesquisas aplicadas ao sistema produtivo pode ser visto com: Zhang e Dilts (2004) e Zhai (2004) que analisam reflexos da rede de suprimentos na produção, e também com Lai, Lee e Ip (2003) que analisa o sistema produtivo com a aplicação do JIT.

“artefatos disponíveis”, influenciado pela mesma “taxa de conclusão da produção” e pela “taxa de entrega”. A Figura 27 representa este fluxo e seus estoques, as taxas que regulam os estoques e os fatores de influência que descrevem esse subsistema conforme os objetivos da pesquisa.

Figura 27 – Diagrama de fluxo e estoque do subsistema de produção



Fonte: adaptado de Sterman (2000).

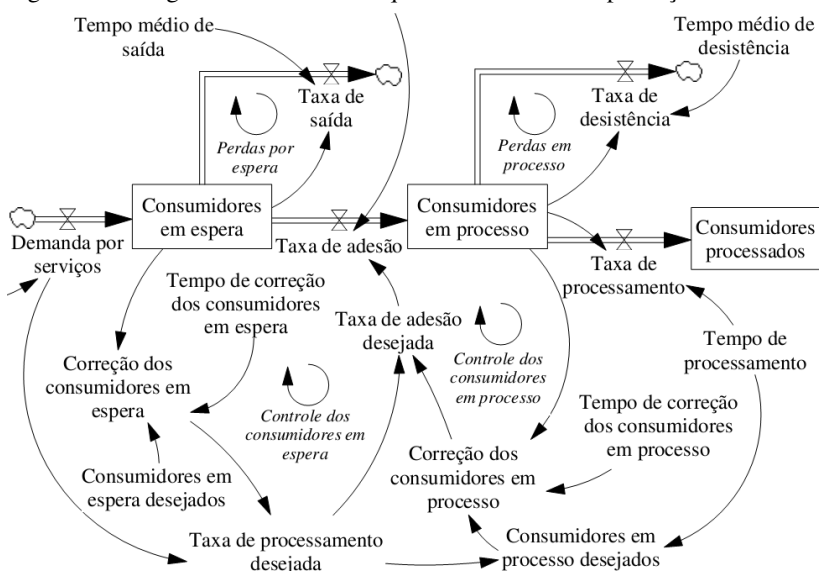
Assim, no modelo o nível do estoque “trabalho em processo” influencia diretamente a “taxa de conclusão da produção” que controla o nível deste estoque, correspondendo a um ciclo de realimentação negativo. Essa influência, como é visto na seção referente às equações do modelo, confere ao modelo a não linearidade uma vez que relacionam os estoques com as taxas que os controlam. Juntamente, uma estrutura do sistema conduz o reflexo da alteração do nível do estoque “trabalho em processo” para a “taxa de início de produção” que controla o aumento do nível deste estoque, descrevendo um ciclo negativo e refletindo a busca do controle pelo sistema com a correção pelo trabalho em processo, dessa forma, denominado “controle do trabalho em processo”. Também o nível do estoque de “artefatos disponíveis” pela estrutura do sistema denominada “controle de artefatos disponíveis” reflete a busca pelo controle do sistema com a “correção do estoque” que acaba por influenciar a “taxa de início de produção”, constituindo outro ciclo de realimentação negativo.

4.3.2 Fluxos e estoques no subsistema de prestação

Com a associação do modelo que representa o sistema de produção ao sistema de prestação as fronteiras do sistema do fabricante são estendidas aos responsáveis pela prestação de serviços. A construção do modelo de fluxos e estoques para o sistema de prestação de serviços proposto nesta pesquisa é feita com analogia ao processamento de produtos, assim como é salientado na condução da modelagem. O fluxo que se apresenta no sistema não consiste de material para transformação, mas sim de consumidores submetidos às atividades de serviços. Esse fluxo é representado em três estados diferentes, tendo então três estoques como mostrado na Figura 28. O primeiro estoque, “consumidores em espera” é gerado pela “demanda por serviços” e representa uma população que pode adotar o PSS, que conforme a descrição conceitual se dá pela “taxa de adesão”. Assim como para o subsistema de produção, em que as etapas de fabricação são representadas por uma única etapa do ciclo de vida (a etapa de produção) concentrando o trabalho em processo, a representação do subsistema de prestação adota a mesma consideração. Um único estoque também generaliza as diferentes atividades referentes ao módulo de serviços, concentrando os “consumidores em processo”. A entrega de valor pelas atividades de serviço ocorre por uma “taxa de processamento”. Essa última diminui o nível do estoque de consumidores em processo e alimenta o último indicador do estado do sistema, o estoque de “consumidores processados” que, nessa pesquisa mensura a quantidade de pacotes de valores entregues pelo sistema.

Esse modelo também considera a “taxa de saída” e a “taxa de desistência” para contemplar as possibilidades acerca do comportamento humano. Taxas de falhas não foram consideradas para o subsistema de produção, abordado de forma simplificada, para favorecer o contexto do PSS e também porque um componente em processo poderia ficar em espera um tempo indeterminado, o que não aconteceria com um consumidor. O sistema proposto contempla, para cada estoque, as entradas e saídas separadamente por poderem acarretar processos decisórios específicos. Essas “taxas de falha”, como representadas na Figura 28, são influenciadas diretamente pelo nível do estoque ao qual estão associadas e por uma constante de tempo sendo inseridas para a análise dos aspectos de desempenho do sistema frente a possibilidade de falhas. As constantes são consideradas fatores exógenos ao sistema não sendo exploradas as relações específicas que influenciam no “tempo médio de saída” e no “tempo máximo em processo”.

Figura 28 – Diagrama de fluxo e estoque do subsistema de prestação



Fonte: o autor.

A estrutura de decisão para o subsistema de prestação também é análoga ao sistema produtivo constituído por dois ciclos de realimentação principais (o “controle dos consumidores em espera” e o “controle dos consumidores em processo”). O objetivo do controle do subsistema de prestação consiste em ajustar tal prestação à demanda por serviços buscando manter o nível do estoque “consumidores em espera” sem acúmulo. Havendo consumidores em espera o sistema precisa além de absorver a demanda por serviços também compensar a quantidade de consumidores em espera existentes. Na estrutura decisória proposta as taxas de adesão e de processamento controlam o sistema para a busca do equilíbrio da saída com a entrada. São inseridas as constantes que configuram operacionalmente o subsistema de produção para a dinâmica de interesse. Destas, o “tempo de processamento” corresponde ao tempo médio necessário para a realização das atividades de serviço. O “tempo de correção dos consumidores em processo” tem relação com as demandas técnicas e administrativas da gestão das atividades de prestação para ajuste do sistema para um novo montante. Já o “tempo de correção dos consumidores em espera” corresponde ao tempo médio necessário para realizar a adesão de novos consumidores no sistema.

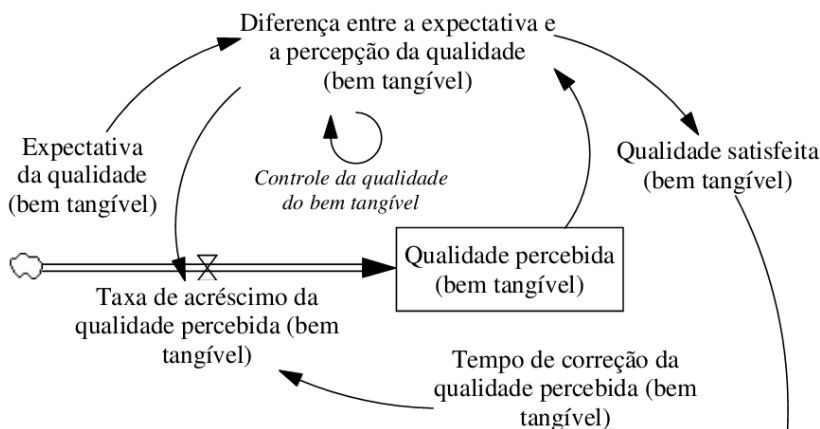
Essa estrutura explícita de maneira detalhada como o subsistema de prestação é considerado para esta pesquisa. Contudo, processos decisórios diferentes para o controle do desse subsistema podem ser explorados.

4.3.3 Fluxos e estoques no subsistema de consumo

Esta parte do modelo de fluxo e estoque é inserida pela consideração da entrega de valor pelo PSS estar condicionada a percepção do consumidor. Conforme o descrito conceitualmente a percepção do consumidor referente à qualidade se deve tanto ao elemento bem tangível quanto aos aspectos e características do elemento serviço. Apesar da característica subjetiva da percepção da qualidade essa é considerada e inserida em diagramas de fluxo e estoque por uma quantia acumulável no tempo ajustada por um ciclo de realimentação de primeira ordem³⁰. Nesse sentido o fluxo presente no diagrama de fluxo e estoques do subsistema de consumo consiste em “percepção da qualidade” que alimenta um único estoque (sendo um para a percepção da qualidade do bem tangível e outro para os serviços). Então, o nível desse estoque representa o nível de qualidade percebida pelo grupo de interesse específico do PSS. O ajuste nesse nível insere a defasagem da percepção do consumidor entre a correção da qualidade aplicada tanto ao bem tangível quanto aos aspectos de serviço até a percepção desse novo estado da qualidade. Então o diagrama de fluxo e estoque do subsistema de prestação é dividido no ciclo de “controle da qualidade do bem tangível” e os fatores de influência deste (mostrado na Figura 29) e o ciclo de “controle da qualidade do serviço” também com seus fatores (mostrado na Figura 30).

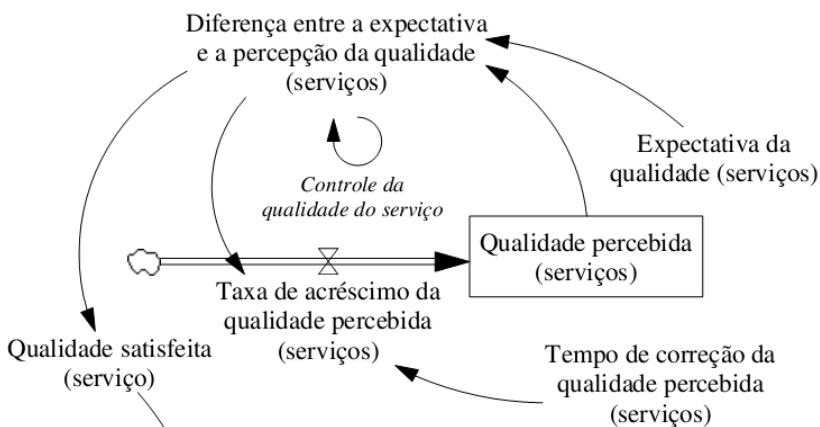
³⁰ Conforme a modelagem dinâmica de Kazemi, Eshlaghy e Tavasoli (2011).

Figura 29 – Diagrama de fluxo e estoque referente à qualidade percebida (bem tangível)



Fonte: adaptado de Kazemi, Eshlaghy e Tavasoli (2011).

Figura 30 – Diagrama de fluxo e estoque referente à qualidade percebida (serviços)



Fonte: adaptado de Kazemi, Eshlaghy e Tavasoli (2011).

Como pode ser visto a estrutura desses diagramas é idêntica, o que confere o mesmo comportamento dinâmico da qualidade percebida relativa aos elementos abordados. Porém, os valores (em cada instante) dos fatores específicos que compõem as estruturas determina o estado de

cada estoque. Isto e sua ligação com o sistema determinam o seu efeito no comportamento.

Assim a aceitação do valor pelo consumidor resulta da consideração da influência estabelecida no sistema por essa percepção de qualidade. Essas influências, por sua vez, são relativas ao horizonte de tempo considerado. Para um horizonte contemplando toda a extensão do ciclo de vida (na perspectiva de sua introdução, crescimento, maturidade e declínio) a atuação no comportamento do sistema (que reflete o relacionamento da empresa com seus clientes) de fatores influenciados pela percepção de qualidade, como por exemplo, a “confiança do consumidor” e por consequência sua “lealdade” podem ser significativas. Nesse sentido exposto o “valor do cliente” considera toda a vida útil de consumo. Nesta abordagem, contudo, o horizonte de análise considera os reflexos mais imediatos da percepção do consumidor. Conforme o exposto na modelagem conceitual e consequentes considerações do modelo essas influências se refletem na taxa de desistência.

Com essas estruturas referentes ao subsistema de consumo a construção do modelo (estrutural) é encerrada. O modelo em sua íntegra, explicitando todas as relações entre os subsistemas, é apresentado no Apêndice A. Mas, essas relações ainda precisam ser definidas matematicamente. Isto é abordado na seção subsequente.

4.4 MODELAGEM MATEMÁTICA

Junto da construção da estrutura do diagrama de fluxo e estoques (que como ferramenta da DS facilita o modelamento matemático) as equações que definem as interações entre as constantes e variáveis complementam o modelo e viabilizam a implementação computacional. A explanação seguinte visa vincular a linguagem matemática à estrutura do modelo (apresentando as equações de forma a ressaltar os fatores de influência diretos para cada variável). Isto possibilita expor como as considerações feitas ao modelo até então se refletem neste modelamento além das próprias considerações necessárias para a correlação matemática. O foco da apresentação das equações, então, recai na analogia entre a linguagem do modelamento matemático e a função e implicações no sistema contextualizado.

Por coerência aos princípios da Dinâmica de Sistemas as equações nesta seção são expostas conforme a conotação do cálculo integral. Nestas, de forma geral, o termo “ T_0 ” corresponde ao período de tempo inicial da análise de interesse, enquanto o termo “ T ” corresponde

ao período final. O termo subscripto “0” é utilizado para designar o estado inicial da variável, enquanto o termo subscripto “ t ” descreve as variáveis nos instantes específicos de interesse. Também para melhor apresentação da seção, seguindo o já adotado nas seções anteriores, as equações também são segmentadas pelos subsistemas de produção, seguido do subsistema de prestação e, por fim, de consumo.

Adicionalmente no Apêndice B são pautadas as variáveis do modelo com suas respectivas equações (integral e a equivalente diferencial correspondente à taxa líquida de mudança do estoque no tempo) e unidades de mensuração. Em conjunto o Apêndice C segmenta as constantes do modelo também expondo suas respectivas unidades. Ambos os apêndices podem ser utilizados como aporte a análise e entendimento dessa seção.

4.4.1 Equações referentes ao subsistema de produção

Ao que se refere ao sistema produtivo³¹ o controle do estoque de artefatos disponíveis representa a tarefa de gestão que consiste em ajustar o fluxo de entrada ao fluxo de saída deste estoque. A variação deste estoque (como para quaisquer estoques conforme a modelagem quantitativa da metodologia DS) é dada pela área abaixo da “curva” que descreve a variação da diferença entre a taxa de entrada e a taxa de saída em um determinado intervalo de tempo. Como o estoque de “artefatos disponíveis” (AD_T) está sujeito à “taxa de conclusão de produção” (TxC) como controle do aumento deste estoque e a “taxa de entrega” (TxE) responsável pela sua redução, a variação do nível de “artefatos disponíveis” é definida pelo processo de integração destas variáveis. O nível de “artefatos disponíveis” em um determinado instante corresponde, então, à variação desse nível no intervalo de análise adicionado do valor dos “artefatos disponíveis iniciais” (AD_{T_0}), conforme mostrada a equação (1).

$$AD_T = \int_{T_0}^T [TxC_{(t)} - TxE_{(t)}] dt + AD_{T_0} \quad (1)$$

³¹ Como a estrutura do subsistema de produção tem base na estrutura genérica de controle de estoques apresentada por Sterman (2000) as equações que regem este submodelo também seguem o apresentado pelo autor, adequando-se a nomenclatura das constantes e variáveis por conveniência a esta pesquisa.

A consideração do estoque de “trabalho em processo” antecedendo o estoque de “artefatos disponíveis” insere a “linha de suprimento” no modelo do sistema de produção. Essa linha representa a defasagem (ou o atraso) entre a solicitação de unidades para a composição do estoque de “artefatos disponíveis” e o recebimento destas unidades, ou seja, corresponde às ordens de produção abertas, mas não concluídas. Insere então o atraso observado no sistema produtivo referente à realização das diversas etapas produtivas. Da mesma forma que para o estoque anterior, a quantidade de “trabalho em processo” (TP_T) corresponde à integração da variação da diferença entre “taxa de início de produção” (TxI) e a “taxa de conclusão da produção” no intervalo de tempo, adicionado do valor do “trabalho em processo inicial” (TP_{T_0}). Isto é representado pela equação (2).

$$TP_T = \int_{T_0}^T [TxI_{(t)} - TxC_{(t)}] dt + TP_{T_0} \quad (2)$$

Em ambas as equações as saídas dos estoques devem-se a utilização, na primeira pela utilização dos artefatos disponíveis com a aquisição para o recebimento dos benefícios propostos pelo pacote de valor, e na segunda pela utilização do trabalho em processo pelas atividades para a conclusão da produção. A “taxa de entrega” que regula a saída do estoque de artefatos disponíveis depende de variáveis exógenas, nesse caso a demanda por produtos. Considerando essa demanda diretamente observável e sendo inserida pela variável “demanda de referência” (DR), em artefatos/semana, a equação (3) representa a “taxa de entrega” como igual à demanda de referência. A formulação específica da demanda de referência é abordada no capítulo referente à simulação (seção 6.2).

$$TxE_{(t)} = DR_{(t)} \quad (3)$$

Já a “taxa de conclusão de produção” depende da quantidade de “trabalho em processo”, as unidades solicitadas por ordens de produção abertas, mas ainda não recebidas no estoque de artefatos disponíveis, e a defasagem média para o recebimento inserida pela variável “tempo de ciclo” (TeC) da produção. Então a TxC é influenciada pelo nível do próprio estoque que controla como formaliza a equação (4).

$$TxC_{(t)} = \frac{TP_{(t)}}{TeC} \quad (4)$$

Como esta investigação se concentra no contexto do PSS conforme o ponto de vista já exposto e por já haverem abordagens cujo foco é a interação entre o fabricante e a cadeia de suprimentos, essa formulação seguinte faz duas considerações neste sistema. A primeira é que o conhecimento da interação entre o fabricante e a cadeia de suprimento que origina o fluxo de material representado no modelo e alimenta o trabalho em processo seja tal que a gestão do estoque do almoxarifado permite uma ampla capacidade de abastecimento do sistema produtivo, contando com os recursos financeiros e técnicos para tal. A segunda é que por este mesmo motivo não é observada uma defasagem significativa entre a redução de componentes ou matéria prima ou qualquer insumo do processo produtivo e sua reposição. Ou seja, o tempo para abastecimento destes materiais é curto o suficiente em relação ao fluxo de materiais no sistema produtivo que pode ser desconsiderado. Dessa forma, a “taxa de início de produção” é restringida matematicamente somente pela “taxa de início de produção desejada” ($TxId$) como mostra a equação (5), sendo válida para $f(x) \geq 0$.

$$TxI_{(t)} = TxId_{(t)} \quad (5)$$

Estabelecendo a relação entre a consideração matemática apresentada na equação (5) e sua representação para o sistema de produção, essa consideração assume que eventuais “devoluções” de unidades de materiais já ingressadas ao trabalho em processo para o almoxarifado seguem processos, regras e critérios de decisões específicas, não sendo consideradas apenas um valor negativo da variável TxI . Caso a consideração da devolução de material precise ser implementada computacionalmente a estrutura do modelo pode ser ampliada para casos específicos.

A “taxa de início de produção desejada”, como sua denominação sugere, corresponde à taxa com a qual o controle do sistema “gostaria” de iniciar a produção e leva em consideração dois fatores. Um destes corresponde a “taxa de conclusão de produção desejada” ($TxCd$) que indica a necessidade de realimentação do sistema produtivo. A variável $TxId$ é calculada em relação à “taxa de conclusão de produção desejada” e não à “taxa de conclusão de produção” (real) visto que os dados

coletados permitem a obtenção de “taxas médias” durante algum intervalo finito, e não taxas instantâneas. O outro fator que influencia na tomada de decisão para o sistema produtivo é a necessidade de redução da discrepância entre o trabalho em processo desejado e real (ou atual) consistindo, portanto, na “correção do trabalho em processo” ($CrTP$). Essa redução de discrepância é realizada aumentando a taxa de início de produção em relação à taxa de conclusão de produção desejada quando o trabalho em processo é menor do que o desejado, ou reduzindo essa relação quando há excesso de trabalho em processo. Assim, como é mostrado pela equação (6) a $TxId$ é calculada pela soma da $TxCd$ (que exerce a função de “ancoragem” da formulação) com o $CrTP$ (que exerce o ajuste por um montante projetado para alinhar o trabalho em processo ao objetivo fixado, ou seja, o ajuste da linha de fornecimento).

$$TxId_{(t)} = TxCd_{(t)} + CrTP_{(t)} \quad (6)$$

A “correção do trabalho em processo” busca (num dado intervalo) o equilíbrio do sistema de produção estabelecendo o ciclo de controle do trabalho em processo. A condição de obtenção do equilíbrio para o subsistema ocorre quando a produção se igualar às vendas. Portanto quando as vendas aumentam e retira material do estoque de artefatos disponíveis o sistema procura aumentar a produção para igualar as vendas, adicionando trabalho em processo. Contudo, essa adição apesar de igualar a produção às vendas o faz com um nível de estoque inferior ao desejado, que justamente consiste no erro em estado estacionário e é o motivo pelo qual na equação (6) adiciona a “correção do trabalho em processo” à variável “taxa de conclusão da produção desejada” para a definição da “taxa de início de produção desejada”.

O equilíbrio do trabalho em processo, então, é dado pela diferença entre “trabalho em processo desejado” (TPd) e o “trabalho em processo” atual dividido pelo “tempo para correção do trabalho em processo” ($TeTP$), ou seja, o tempo necessário para que tal ajuste ocorra. Essa relação é expressa na equação (7).

$$CrTP_{(t)} = \frac{(TPd_{(t)} - TP_{(t)})}{TeTP} \quad (7)$$

A variável “trabalho em processo desejado” ajusta o “trabalho em processo” em relação à demanda. Para tal, como mostrado na equação (8) o TPd é produto da “taxa de conclusão da produção desejada” e o

“tempo de ciclo”. Contudo, há diferentes abordagens para este aspecto do sistema, podendo utilizar desde o “trabalho em processo desejado” como uma constante, até formulações específicas de processos de ajuste³².

$$TPd_{(t)} = TxCd_{(t)} \cdot TeC \quad (8)$$

A equação (9) expressa a obtenção da $TxCd$ pela soma da “correção do estoque” ($CrAD$) à “taxa de entrega”. Assim, a determinação da “taxa de conclusão de produção desejada” considera os efeitos da demanda de referência na redução do nível de estoques. Mas também, a exemplo da taxa de início da produção desejada, para a correção do nível de estoque na determinação da $TxCd$ é considerada a discrepância gerada como reflexo da demanda na quantidade de artefatos disponíveis e o nível desejado para este estoque (exercendo o ajuste do estoque de artefatos disponíveis ao montante projetado para este). Pela não utilização de uma taxa de entrega “desejada” a demanda de referência que atua na taxa de entrega também é considerada no modelo como diretamente observável e com praticamente nenhum atraso ou erro de medição. A $TxCd$ é restringida para $f(x) \geq 0$ em função da robustez do modelo.

$$TxCd_{(t)} = CrAD_{(t)} + TxE_{(t)} \quad (9)$$

A “correção do estoque” ($CrAD$), então, é feita pela diferença entre a quantidade de “estoque desejado” (ADd) e a quantidade efetiva de “artefatos disponíveis” ao longo do “tempo para correção do estoque” ($TeAD$). A equação (10) apresenta a definição da correção do estoque para um determinado instante.

$$CrAD_{(t)} = \frac{(ADd - AD_{(t)})}{TeAD} \quad (10)$$

Na correção do estoque a quantidade de estoque desejado é adotada como uma constante operacional do sistema, potencialmente determinada em etapas precedentes do desenvolvimento ou ainda em determinação. Da mesma maneira ocorre com o tempo demandado para a correção do nível desse estoque.

³² Conforme Sterman (2000).

Portanto, para essa pesquisa o subsistema de produção é completamente definido com a explicitação das relações matemáticas das influências entre as constantes e variáveis. Na seção seguinte o mesmo é realizado para o subsistema de prestação.

4.4.2 Equações referentes ao subsistema de prestação

Como exposto na construção do modelo de fluxo e estoque referente ao subsistema de prestação, este é constituído por três estoques. O estoque de “consumidores em espera” (CE_T) irá se formar caso a “taxa de adesão” (TxA) não seja capaz de compensar a “demanda por serviços” (DeS). A “taxa de adesão” representa a “utilização” desse estoque para o processamento pelo sistema, contudo, a “taxa de saída” (TxS) insere a saída por “perdas” desse estoque. A equação que define o nível de consumidores em espera em no instante T é representada na equação (11).

$$CE_T = \int_{T_0}^T [DeS_{(t)} - TxA_{(t)} - TxS_{(t)}]dt + CE_{T_0} \quad (11)$$

A quantidade de “consumidores em processo” (CP), por sua vez, também é modelada considerando saídas e perdas conforme representa o modelo. A equação (12) apresenta a definição da quantidade de consumidores em processo em função de seu valor inicial (CP_{T_0}), de sua entrada pela “taxa de adesão”, e saídas pela “taxa de processamento” (TxP) e “taxa de desistência” (TxD). O estoque de consumidores em processo insere a defasagem de tempo necessária para que o consumidor ingresse no módulo do serviço e consuma esse serviço.

$$CP_T = \int_{T_0}^T [TxA_{(t)} - TxP_{(t)} - TxD_{(t)}]dt + CP_{T_0} \quad (12)$$

O terceiro indicador é inserido para as análises posteriores e constitui na quantidade total de “consumidores processados” (CPR_T). Resulta, conforme o diagrama de fluxo e estoque, do montante de “consumidores processados inicialmente” (CPR_{T_0}) adicionados da integração da “taxa de processamento”. Assim, a equação (13) apresenta a definição matemática para o estoque de consumidores processados.

$$CPR_T = \int_{T_0}^T [TxP_{(t)}] dt + CPR_{T_0} \quad (13)$$

As relações que definem a estrutura de decisão para o controle do fluxo no subsistema de produção foram estabelecidas para ajustar o fluxo de saída ao fluxo de entrada. Nesse sentido a “taxa de adesão” considera que o módulo de serviços dispõe de recursos, sejam humanos, operacionais, técnicos, financeiros ou referentes à infraestrutura, a serem alocados, utilizados ou consumidos para a realização das atividades de serviço. É restrita apenas pela “taxa de adesão desejada” ($TxAd$) que leva em conta a demanda por serviços, os consumidores em espera e os consumidores em processo. Essa taxa considera somente valores positivos, sendo válida para $f(x) \geq 0$, visto que uma vez que os consumidores passam a serem processados sua saída se dá pela conclusão do processamento (pela taxa de processamento) ou pela desistência (dada pela taxa de desistência) que demandam processos decisórios específicos. Um valor negativo para a taxa de adesão poderia ser interpretado como a tentativa de retirada dos consumidores em processo antes da conclusão das atividades e sem que houvesse a desistência. Também, a taxa de adesão é condicionada a satisfação da qualidade do serviço (a qual se considera existente ou não existe como abordado nas equações referentes ao subsistema de consumo). Assim, a “taxa de adesão” é expressa na equação (14).

$$TxA_{(t)} = TxAd_{(t)} \cdot QSS \quad (14)$$

Na estrutura de controle do fluxo do subsistema de prestação a “taxa de adesão desejada” relaciona ambos os ciclos de realimentação atuantes pelas variáveis “taxa de processamento desejada” ($TxPd$) e “correção dos consumidores em processo” ($CrCP$). A “correção dos consumidores em processo” efetua a redução da discrepância entre os níveis desejados e efetivos para o estoque “consumidores em processo”. Essa discrepância é reduzida pela “correção do trabalho em processo” com o aumento da “taxa de adesão” em relação à “taxa de processamento desejada” quando o nível de consumidores em processo é menor do que o desejado, ou reduzindo em caso de excesso. A taxa de adesão desejada é representada na equação (15) com a soma da $TxPd$ (como âncora) e a $CrCP$ (o ajuste da prestação ao objetivo fixado) para a correção do erro em estado estacionário do sistema.

$$TxAd_{(t)} = TxPd_{(t)} + CrCP_{(t)} \quad (15)$$

A correção dos consumidores em processo é dada pela diferença entre os “consumidores em processo desejados” (CPd) e o nível efetivo de “consumidores em processo” dividida pelo “tempo de correção dos consumidores em processo” ($TeCP$), conforme expresso na equação (16).

$$CrCP_{(t)} = \frac{(CPd_{(t)} - CP_{(t)})}{TeCP} \quad (16)$$

O ajuste dos “consumidores em processo” em relação à demanda por serviços é feito pela variável “consumidores em processo desejados”. Nesse sentido essa última é definida como o produto entre a “taxa de processamento desejada” e o “tempo de processamento” (TeP) como mostra a equação (17). Nesse modelo se considera a taxa de processamento controlável de maneira que permita a mensuração do tempo de processamento sem um erro ou atraso significativo na dinâmica abordada.

$$CPd_{(t)} = TxPd_{(t)} \cdot TeP \quad (17)$$

A taxa de processamento desejada reflete os efeitos da demanda por serviços na regulação da entrada e no nível de consumidores em processo no sistema. É dada pela DeS adicionada da “correção dos consumidores em espera” ($CrCE$) como mostra a equação (18).

$$TxPd_{(t)} = CrCE_{(t)} + DeS_{(t)} \quad (18)$$

A correção dos consumidores em espera, conforme salientado na construção do modelo, objetiva o consumo do acúmulo do estoque de consumidores em espera pelo sistema. A constante de entrada “consumidores em espera desejados” (CEd) insere o valor de referência para o estoque para correção do valor efetivo no “tempo de correção dos consumidores em estoque” ($TeCE$) como evidencia a equação (19).

$$CrCE_{(t)} = \frac{(CE_{(t)} - CEd)}{TeCE} \quad (19)$$

Por fim, e ainda referente à estrutura de decisão do subsistema de prestação a “taxa de processamento” completa o controle do sistema na busca do equilíbrio entre o fluxo de saída e de entrada. Essa taxa, como mostra a equação (20), é constituída pelo nível de “consumidores em processo” já definido pela ação dos dois ciclos de realimentação e a defasagem média para a ocorrência do processamento correspondente à variável “tempo de processamento” (TeP).

$$TxP_{(t)} = \frac{CP_{(t)}}{TeP} \quad (20)$$

Além da estrutura de decisão o subsistema de prestação ainda contempla as perdas por espera e por processo. A “taxa de saída” determina as perdas por espera, calculada em função “tempo médio de saída” (TeS) como mostra a equação (21). Já a taxa de desistência que determina as perdas em processo é calculada em função do “tempo médio de desistência” (TeD) como mostrado na equação (22).

$$TxS_{(t)} = \frac{CE_{(t)}}{TeS} \quad (21)$$

$$TxD_{(t)} = \frac{CP_{(t)}}{TeD} \quad (22)$$

Essas relações matemáticas explicitadas nessa seção concluem a definição do subsistema de prestação. Na seção seguinte é, então, abordado o subsistema de consumo com a inserção das considerações acerca da percepção da qualidade.

4.4.3 Equações referentes ao subsistema de consumo

O conceito de valor utilizado nesta pesquisa envolve uma troca entre os benefícios recebidos e os custos demandados. Gale e Wood (1996) aponta o valor percebido ($V_{\text{Percebido}}$) como uma relação entre da qualidade percebida ($Q_{\text{Percebida}}$) em relação ao preço relativo (P_{Relativo}). Essa qualidade percebida é influenciada pela expectativa inicial do consumidor ($Q_{\text{Expectativa}}$). Essa relação pode ser expressa matematicamente conforme a equação (23).

$$V_{Percebido} = \frac{Q_{Percebida(t)}}{P_{Relativo(t)}} = \frac{f(Q_{Expectativa(t)})}{P_{Relativo(t)}} \quad (23)$$

Em concordância com a fundamentação específica e a construção do modelo, e ainda conforme Kotler (1998), a condição de qualidade satisfeita ($Q_{Satisfeita}$) é obtida quando a qualidade percebida iguala ou excede a expectativa inicial do consumidor $Q_{Percebida(t)} \geq Q_{Expectativa(t)}$. Assim a condição de valor satisfeito ($V_{Satisfeito}$) é obtido quando a qualidade for satisfeita para um determinado preço relativo conforme a equação (24), na qual o termo subscrito define o elemento em análise (bem tangível ou serviço).

$$V_{Satisfeito(t)} = \frac{Q_{Satisfeita(t)}}{P_{Relativo}} \quad (24)$$

Vista essa consideração do valor e estabelecendo uma relação com o apresentado ainda na construção do modelo pela descrição conceitual da relação sistêmica entre os fatores salienta-se que essa pesquisa abordada os fatores referentes à “qualidade” que compõe a percepção do valor. A interpretação dessa pesquisa, portanto, não deve ser de que o aumento da qualidade resultará, em qualquer condição, no aumento do valor percebido. Mas sim, para esta pesquisa se considera que a percepção do consumidor quanto ao preço relativo não é alterada ou permanece aceitável quando da correção da qualidade do produto ou do serviço. Dessa forma, e para esse contexto, a correção da qualidade gera uma correção proporcional ao valor percebido. A dinâmica associada aos fatores referentes ao preço na composição do valor para o consumidor pode ser abordada com a expansão desse modelo.

Com isso tem-se como indicador do estado do subsistema de consumo o estoque “qualidade percebida” referente a cada elemento. Assim, a equação (25) formaliza os termos empregados e a relação matemática que determina a qualidade percebida referente ao bem tangível (QPA), enquanto a equação (26) formaliza a mesma consideração relativa ao serviço (QPS). Ambas dependem das taxas específicas de mudança do nível do estoque e do valor inicial deste.

$$QPA_T = \int_{T_0}^T [TxPA(t)] dt + QPA_{T_0} \quad (25)$$

$$QPS_T = \int_{T_0}^T [TxPS_{(t)}] dt + QPS_{T_0} \quad (26)$$

Conforme as relações dinâmicas estabelecidas no diagrama de fluxo e estoque a aumento da qualidade percebida conduz à redução da “diferença entre a qualidade percebida e a diferença da qualidade” que tem como referência a “expectativa de qualidade”. Para a projeção dos cenários, realizada no próximo capítulo a indução das condições não favoráveis à dinâmica do sistema é feita por uma relação de proporcionalidade. Nesse sentido a qualidade percebida consiste em uma porcentagem do atendimento à expectativa da qualidade sendo ambas representadas para fins de simulação por uma escala de 0 a 1 com igual diferença de atratividade entre seus subintervalos³³. A equação (27) e a equação (28) formalizam essa consideração.

$$\Delta A_{(t)} = EA_{(t)} - QPA_{(t)} \quad (27)$$

$$\Delta S_{(t)} = ES_{(t)} - QPS_{(t)} \quad (28)$$

A taxa de acréscimo que regula o nível da percepção da qualidade é dada pela diferença entre a percepção e a expectativa da qualidade (portanto, proporcional à diferença entre este nível e o valor meta) e o tempo necessário para a correção da qualidade do respectivo elemento. Portanto, define a quantidade de qualidade acrescida em relação à percepção do consumidor em um dado tempo como mostra a equação (29) (relativa ao bem tangível) e a equação (30) (relativa ao serviço).

$$TxPA_{(t)} = \frac{\Delta A_{(t)}}{TeQA} \quad (29)$$

$$TxPS_{(t)} = \frac{\Delta S_{(t)}}{TeQS} \quad (30)$$

³³ Essa consideração simplifica a inserção dos aspectos referentes à qualidade nessa pesquisa. A mensuração da qualidade é viabilizada por ferramentas específicas aplicadas junto ao consumidor tornando possível a definição de descritores, suas correlações, funções de valor, e as transformações semânticas necessárias para a adequação à teoria da mensuração.

A qualidade satisfeita é obtida quando a percepção da qualidade pelo consumidor iguala ou excede sua expectativa. Sob essa consideração a variável “qualidade satisfeita” para o bem tangível e para o serviço (*QSA* e *QSS* respectivamente), para viabilização da simulação, é definida para “1” quando $\Delta A_{(t)}, \Delta S_{(t)} \leq 0$, permanecendo com valor nulo no caso de expectativa superior a percepção. Portanto, o “efeito da qualidade satisfeita” na “demanda de referência” (para o caso do bem tangível) e na “taxa de adesão” (para o caso do serviço) é de restrição dessas variáveis para o valor nulo. Assim, o modelo contempla as condições de satisfação existente ou não existente, não contemplando condições intermediárias, a exemplo da modelagem dinâmica conduzida por Kazemi, Eshlaghy e Tavasoli (2011).

O Apêndice D expõe, extraindo do *software* Vensim PLE, a linguagem computacional específica deste *software*³⁴ que (correlacionada à linguagem matemática) efetiva a implementação computacional. Nesta linguagem computacional, por exemplo, a função “MAX” que atribui a uma variável o valor máximo de um intervalo definido e é utilizado para manter os valores de determinadas variáveis (nesse caso a *TxCd*, *TxI* e *TxA*) em valores positivos. Também é observada na definição de qualquer estoque a utilização da função “INTEG” que realiza a integração da variação das taxas de mudança deste estoque no tempo definido.

Com isso tem-se, então, o modelo para simulação encerrando as etapas qualitativas e quantitativas de modelagem. A simulação permitirá explorar o impacto de determinadas ações no sistema como será abordado no capítulo seguinte. Antes, porém, são salientadas as principais considerações do modelo proposto que se refletem nos resultados a serem obtidos pela pesquisa.

4.5 PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES DO MODELO

Conforme podem ser verificadas na descrição da atividade de modelamento do fenômeno diversas considerações são ressaltadas. A condução do texto explicativo da modelagem procurou evidenciar as diversas considerações em coerência e conveniência com a narrativa. Assim pode ser observado que as considerações estão presentes desde o

³⁴ A documentação contendo os manuais de utilização que descrevem as funções específicas da linguagem computacional do *software* Vensim PLE (e outras mídias como vídeos tutoriais) pode ser encontrada em Ventana System (2012).

ponto de vista de análise e a definição dos limites do sistema, também nas defasagens consideradas relevantes para o estudo do fenômeno, até as correlações matemáticas que viabilizam a simulação. A própria utilização das ferramentas da Dinâmica de Sistemas aplica considerações específicas para o tratamento das informações. Enfim, as considerações são necessárias para viabilizar a construção do modelo.

Contudo, essa seção expõe como principais considerações desse modelo as funções das condicionantes para o contexto específico descrito para o PSS. Nesta interpretação foram abordadas cinco principais condicionantes para entrega do pacote de valor que consistem na: facilidade de obtenção do valor, facilidade de consumo do valor, satisfação de valor referente ao bem tangível e ao serviço, e os fatores operacionais e de controle. Com base na exploração dessas condicionantes na atividade de modelagem conceitual e também de modelagem matemática o Quadro 14 explicita a definição de tais condicionantes para o contexto específico descrito nessa pesquisa.

Quadro 14 – Definição das condicionantes para o contexto descrito

Condicionantes	Descrição
Satisfação de valor (bem tangível)	Condição em que a percepção da qualidade do bem tangível iguala ou excede as expectativas iniciais construídos com base em seus valores e preferências pessoais frente à comparação com as ofertas similares ou concorrentes no mercado.
Satisfação de valor (serviço)	Condição em que a percepção dos aspectos da qualidade referente aos serviços que influenciam em suas expectativas iniciais igualando ou excedendo essas expectativas construídas com base em seus valores e preferências pessoais frente à comparação com as ofertas similares ou concorrentes no mercado.
Facilidade de obtenção do valor	Capacidade do sistema em disponibilizar o bem tangível e, como tal, o conjunto de benefícios referentes a este.
Facilidade de consumo do valor	Capacidade do sistema em agregar valor realizando as atividades de serviços específicas do módulo agregado ao bem tangível.
Fatores operacionais e de controle	Práticas e métodos, ou mesmo, restrições operacionais, bem como práticas e métodos de controle referentes à disponibilização e adição do valor.

Fonte: o autor.

A construção do modelo pela consideração das condicionantes definidas anteriormente estabelece a correlação direta dessas com o resultado final desta pesquisa. Contudo, mesmo com o modelo construído para que os resultados finais possam ser considerados válidos esse modelo ainda demanda testes frente à utilidade exploratória a que se propõe. O capítulo seguinte expõe e comenta os resultados obtidos pelos testes.

5 VALIDAÇÃO DO MODELO

Este capítulo inicia com o modelo para simulação já construído, porém ainda demandando os testes previstos pela Dinâmica de Sistemas. Os testes de comportamento, em específico, são baseados nos padrões gráficos de referência. Portanto, inicialmente são expostos esses modelos gráficos seguidos da descrição dos testes realizados. Os testes qualitativos consistem na verificação de estrutura e dos parâmetros. Já os testes quantitativos, além do teste de comportamento, englobam o teste de condições extremas, de robustez, e os testes de erro de estado estacionário e erro em regime permanente, todos de ordem quantitativa.

5.1 MODELOS GRÁFICOS DE REFERÊNCIA

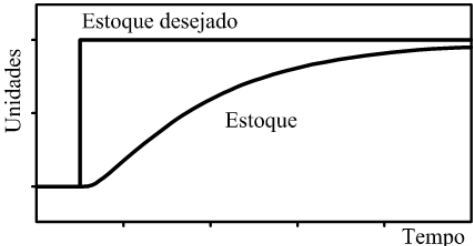
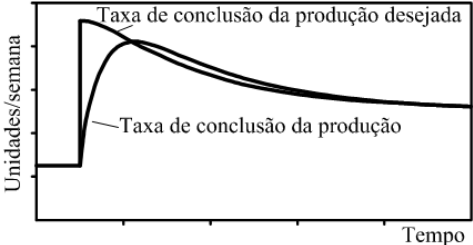
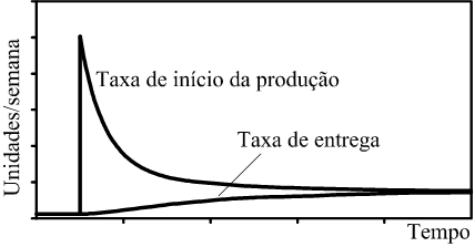
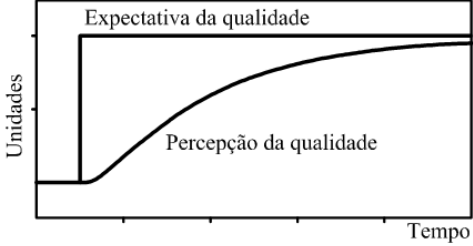
Essa seção apresenta os modelos gráficos que, na Dinâmica de Sistemas, são usados como referência ao comportamento tipicamente observado em determinados sistemas em um horizonte de tempo. Essa representação gráfica do comportamento resulta da relação entre a variação dos fatores que compõe e definem o sistema, ou seja, sua estrutura (STERMAN, 2000) sendo, então, utilizados como referência para os testes de comportamento de modelos construídos.

Os modelos gráficos de referência específicos do sistema produtivo utilizados para os testes de comportamento dos diagramas de fluxos e estoques propostos no capítulo anterior são apresentados no Quadro 15. A breve descrição do comportamento que se segue utiliza os termos específicos empregados nos modelos utilizados nesta pesquisa.

O modelo gráfico de referência (i) descreve o comportamento típico do ajuste do nível de estoques (um incremento exponencial de primeira ordem) em função de um incremento permanente na variável de entrada, o estoque desejado. Ainda em função do incremento no nível de “estoque desejado”, conforme o modelo gráfico de referência (ii) a “taxa de conclusão da produção desejada” tem um aumento imediato, já a “taxa de conclusão da produção” também aumenta, mas gradativamente e ambas convergem com o equilíbrio do sistema. Juntamente, como é mostrada no modelo gráfico de referência (iii), a “taxa de início de produção” (não havendo também restrições de capacidade) aumenta imediatamente. Pelo incremento no estoque requerido a “taxa de entrega” aumenta gradualmente e com a ação de equilíbrio do sistema converge com a “taxa de início de produção desejada”. Já o modelo gráfico de referência (iv), também um incremento exponencial de primeira ordem, é empregado como

referência à descrição do comportamento da percepção da qualidade para um incremento na sua expectativa.

Quadro 15 – Modelos de comportamentos gráficos para referência

Descrição e referência	Modelos gráficos de referência para o comportamento
<p>(i) Comportamento do estoque para um incremento no estoque desejado</p> <p>Fonte: adaptado de Sterman (2000).</p>	
<p>(ii) Comportamento da taxa de conclusão de produção e taxa de conclusão de produção desejada</p> <p>Fonte: adaptado de Sterman (2000).</p>	
<p>(iii) Comportamento da taxa de início de produção e taxa de entrega</p> <p>Fonte: adaptado de Sterman (2000).</p>	
<p>(iv) Comportamento da expectativa e percepção da qualidade</p> <p>Fonte: adaptado de Sterman (2000) e Kazemi; Eshlaghy e Tavasoli (2011).</p>	

Fonte: o autor.

5.2 TESTES DO MODELO

Os testes aplicados aos modelos da Dinâmica de Sistemas, como um processo em que se estabelece confiança no modelo, podem ser divididos em (i) teste de verificação de estrutura, (ii) teste de verificação de parâmetros e (iii) testes de comportamento. Com estes testes (e considerando que este estudo é desenvolvido no contexto da pesquisa acadêmica) o modelo proposto pode ser considerado válido e suficiente para este estudo em específico.

5.2.1 Teste de verificação de estrutura

O teste de verificação de estrutura é um teste qualitativo. Consiste em comparar a estrutura do modelo com a estrutura do sistema de referência com o objetivo de verificar se a estrutura do modelo contradiz o conhecimento acerca de tal sistema (FORRESTER; SENGE, 1980).

Como essa pesquisa utiliza referências teóricas a condução do teste de verificação de estrutura teve por objetivo, conforme recomendado por Coyle (1996), verificar a atuação sistêmica no modelo dos ciclos de realimentação que controlam o sistema descrito. Pela análise qualitativa aos ciclos descritos conceitualmente e convertidos no diagrama de fluxo e estoques mostram-se condizentes (pelos testes referentes ao comportamento) ao comportamento desejado para cada ciclo. A verificação do diagrama de fluxos e estoques elaborado teve por base, contudo, a organização entre os *stakeholders* estabelecida teoricamente.

5.2.2 Teste de verificação de parâmetros

Este teste também é de ordem qualitativa e tem relação com o teste de verificação da estrutura. É realizado por comparação entre o modelo proposto e o sistema de referência e tem por objetivo verificar se os parâmetros condizem e aos processos de decisão de referência (FORRESTER; SENGE, 1980).

Ao que refere ao sistema de produção foram consultados trabalhos específicos que abordam tal sistema. O decorrer da modelagem relaciona os trabalhos de referência e justifica o emprego dos parâmetros específicos a este modelo. O subsistema de prestação foi criado com analogia ao sistema de produção. Emprega, portanto, os mesmos mecanismos de controle aplicados, contudo, a um fluxo de pessoas submetidas a atividades de serviços ao invés de material

submetidos aos processos de manufatura. Mesmo para as questões mais abstratas como a percepção do consumidor as pesquisas consideram que os fatores funcionais referentes a cada requisito do consumidor podem ser diferenciados e abordados separadamente possibilitando a mensuração da importância de cada elemento para o valor no PSS.

5.2.3 Testes de comportamento

A condução do teste consiste em um processo de experimentação controlada em que o modelo estando em equilíbrio torna mais fácil a identificação dos “desvios” no comportamento em função da indução dos valores de entrada escolhidos para um determinado teste (STERMAN, 2000). Portanto, sendo os testes de comportamento de ordem quantitativa, estes foram conduzidos nos subsistemas de forma a (i) simular o seu comportamento determinando um instante no horizonte de simulação em que suas entradas e saídas indiquem o estado de equilíbrio e, somente então, (ii) induzir os valores de entrada escolhidos convenientemente para cada teste.

Os testes de comportamento realizados consistem no (i) teste de reprodução do comportamento, (ii) teste de erro em regime estacionário e (iii) teste de erro de regime permanente. Esses são descritos na sequência apresentando a projeção gerada pelo *software* Vensim PLE.

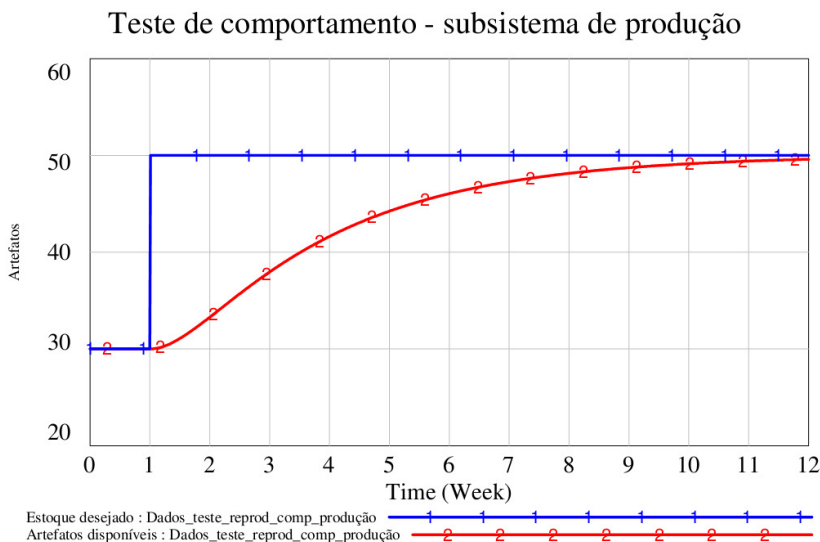
5.2.3.1 Teste de reprodução de comportamento

O teste de reprodução de comportamento tem como referência os modelos gráficos apresentados na Seção 5.1. Portanto, tem como objetivo verificar se o modelo reproduz o comportamento esperado para o sistema. Para a realização destes testes o modelo foi dividido em determinadas partes, sendo que algumas relações entre variáveis foram retiradas e os valores foram estipulados de forma conveniente para induzir os estímulos externos.

Para o teste do modelo de fluxo e estoque referente ao subsistema de produção esta parte do modelo foi isolada dos demais subsistemas. Portanto a “taxa de entrega” é influenciada somente pelo nível do estoque de “artefatos disponíveis” e por uma constante de tempo para coerência das unidades de fluxo no sistema e tornando essa taxa um processo de primeira ordem. Com isso no teste do subsistema de produção os ciclos de realimentação de “controle de artefatos disponíveis” e “controle do trabalho em processo” atuam igualando a produção com as utilizações para o equilíbrio do sistema. Neste teste, o

modelo de referência de comportamento tem como referência o controle dos estoques. Para a verificação do comportamento a variável “estoque desejado” foi ajustada para 30 artefatos para o instante inicial de simulação sofrendo um incremento para 50 artefatos no instante 1 (semana), induzindo assim, um aumento na demanda por bens tangíveis. Dessa forma do instante “0” ao instante 1 (semana) o sistema obtém o equilíbrio e, a partir daí o comportamento apresentado pelo modelo é comparado aos modelos gráficos. Como a análise é realizada pela interpretação do comportamento apresentado pelo sistema os valores das constantes do modelo são arbitrados em conveniência à análise. A constante de tempo que compõe a “taxa de entrega” foi definida para 6, o “tempo de ciclo” para 2, “tempo para correção do estoque” para 3 e o “tempo para correção do trabalho em processo” para o valor 0,75 (semanas). Esses valores foram utilizados por coerência aos respectivos valores dos modelos de referência. A Figura 31 mostra o comportamento gráfico das variáveis “estoque desejado” e “artefatos disponíveis”. A Figura 32 se refere às variáveis “taxa de conclusão de produção” e “taxa de conclusão de produção desejada”, para o mesmo período de tempo. Juntamente as variáveis “taxa de início de produção” e “taxa de entrega” são consideradas na Figura 33.

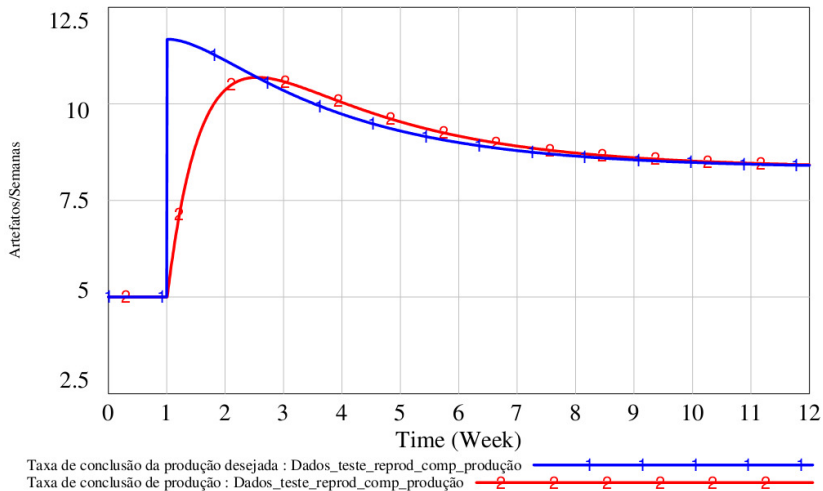
Figura 31 – Teste de comportamento: “estoque desejado” e “artefatos disponíveis”



Fonte: o autor.

Figura 32 – Teste de comportamento: “taxa de conclusão de produção” e “taxa de conclusão de produção desejada”

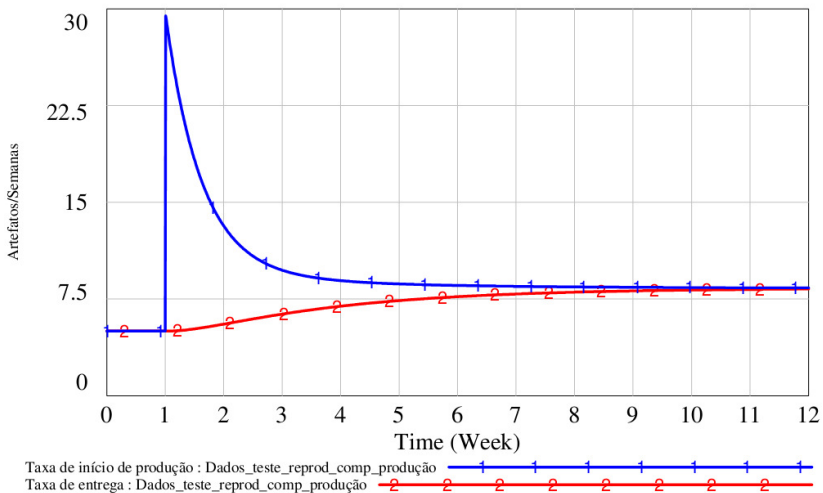
Teste de comportamento - subsistema de produção



Fonte: o autor.

Figura 33 – Teste de comportamento: “taxa de início de produção” e “taxa de entrega”

Teste de comportamento - subsistema de produção



Fonte: o autor.

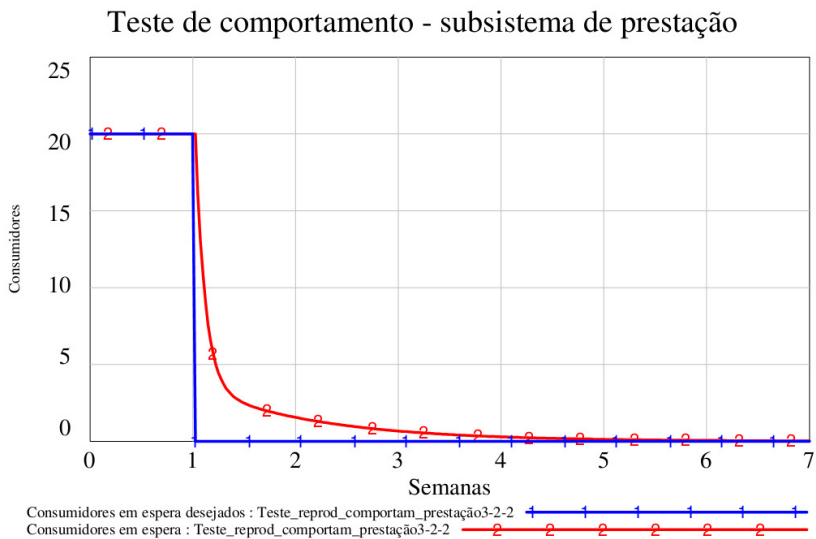
Com o aumento súbito do estoque desejado de 30 para 50 unidades a “correção do estoque” passa de aproximadamente “0” (em função do equilíbrio do sistema) para 6,6 artefatos/semana (20 unidades a serem repostas em 3 semanas) e a “correção do trabalho em processo” passa de “0” para 17,7 artefatos/semana. A “taxa de conclusão de produção desejada” passa de 5 artefatos/semana (na condição de equilíbrio inicial) para 11,6 artefatos/semana e a “taxa de início de produção” passa de 5 para 29,4 artefatos/semana. Com a atuação dos ciclos de realimentação que integram o modelo ao longo do horizonte de simulação a “correção do estoque” e a “correção do trabalho em processo” aproximam-se novamente do valor “0”. A “taxa de conclusão de produção desejada” e a “taxa de início de produção” estabelecem gradativamente o novo patamar de 8,3 artefatos/semana. Com isso o nível do estoque “artefatos disponíveis” é ajustado para o novo estado de 50 artefatos. Dessa maneira os ciclos de realimentação que integram a estrutura de fluxos e estoques do subsistema de produção reproduzem os aspectos do comportamento gráfico de referência para a busca deste subsistema pelo equilíbrio igualando a produção com a utilização.

A estrutura dos fatores que constituem o subsistema de prestação, entretanto, difere do subsistema de produção. Portanto os testes de comportamento deste subsistema foram conduzidos no sentido de verificar em sua estrutura específica a atuação dos ciclos de realimentação na condução ao equilíbrio. Mas, como ambos os subsistemas se referem a um sistema de processamento, sendo que o próprio modelamento foi conduzido por analogia, também aspectos do comportamento do subsistema de prestação foram analisados com referência subsistema de produção. Um destes aspectos consiste na atuação do ciclo de realimentação “controle dos consumidores em espera” no ajuste do nível de acúmulo desse estoque para um valor desejado. Nesse sentido para um valor objetivo nulo é verificado se o processamento de consumidores pelo sistema, além de considerar a demanda, também absorve o acúmulo de consumidores em espera. Por esta conferência verifica-se a eficácia deste ciclo frente à indução de um aumento de passo do fator “consumidores em espera desejados”. Além deste também foi verificada a resposta da “taxa de processamento desejada” e da “taxa de processamento” para um incremento na demanda. Nesse sentido espera-se do comportamento do subsistema o aumento da taxa desejada seguida de um aumento mais gradual da taxa de processamento e a convergência destas variáveis indicando o equilíbrio do sistema. Por fim, o teste isolado do subsistema de prestação também verifica a capacidade do sistema de igualar as saídas

com as entradas. Em contraste com o subsistema de produção a variável endógena que insere a principal perturbação no sistema (nesse caso a “demanda por serviços” que é associada a “demanda de referência”) encontra-se na entrada do fluxo do sistema. Portanto nesta análise verifica-se a eficácia da atuação do ciclo de realimentação “controle dos consumidores em processo” para o reequilíbrio do sistema.

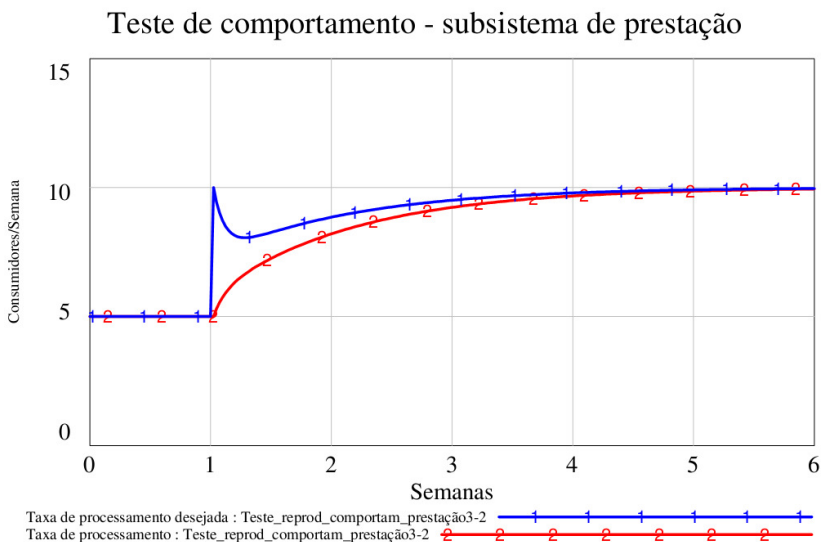
Assim, também para o teste de comportamento do modelo de fluxo e estoque referente ao subsistema de prestação esta parte do modelo foi isolada dos demais subsistemas facilitando a indução de estímulos externos. Em todos os testes neste subsistema as taxas de saída e desistência foram mantidas nulas (sendo temporariamente igual ao número de consumidores em espera e em processo multiplicados por “0”). Para a verificação da atuação do ciclo de realimentação “controle dos consumidores em espera” a “demanda por serviços” foi mantida constante com uma taxa de 5 consumidores/semana. A variável “consumidores em espera desejados” foi configurada para o valor 20 consumidores sofrendo uma redução para “zero” no instante 1 (semana) e as constantes “tempo de correção dos consumidores em espera”, “tempo de correção dos consumidores em processo” e “tempo de processamento” foram arbitradas em 0,3, 0,75 e 1 semanas respectivamente. Já para a verificação da resposta da “taxa de processamento desejada” e da “taxa de processamento” foi induzido um aumento de passo na “demanda por serviços” mantendo a variável “consumidores em espera desejados” no valor zero. Novamente o aumento foi efetuado no instante 1 (semana) passando de 5 para 10 consumidores/semana. Para a verificação da convergência das entradas com as saídas deste subsistema mantiveram-se as mesmas configurações utilizadas no teste anterior analisando-se a “taxa de adesão” e a “taxa de processamento”. O comportamento resultante destes testes é mostrado pela Figura 34 com a representação gráfica do nível do estoque “consumidores em espera” em função da atuação na variável de “consumidores em espera desejados”. Já a Figura 35 representa graficamente a evolução das variáveis “taxa de processamento desejada” e “taxa de processamento”. Por suas vezes, o comportamento gráfico das variáveis “taxa de adesão” e “taxa de processamento” é mostrado na Figura 36, complementando os aspectos do comportamento analisados nessa etapa de testes.

Figura 34 – Teste de comportamento: “consumidores em espera desejados” e “consumidores em espera”



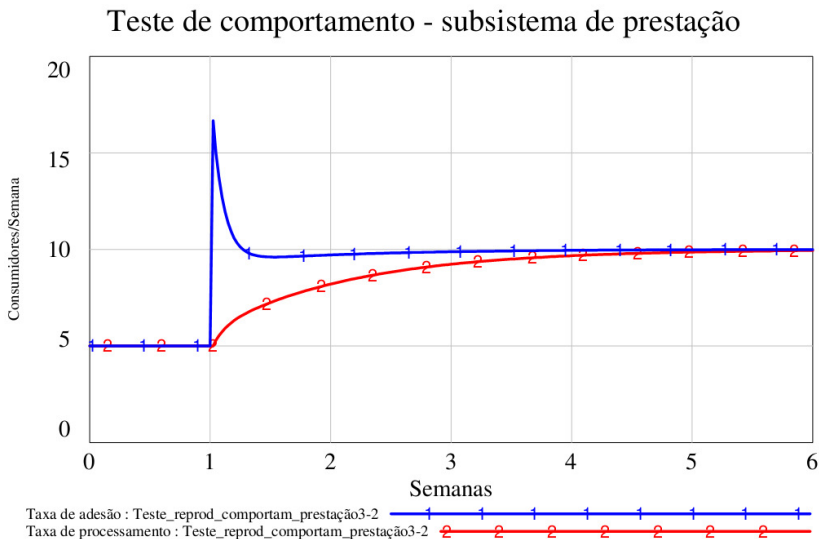
Fonte: o autor

Figura 35 – Teste de comportamento: “taxa de processamento desejada” e “taxa de processamento”



Fonte: o autor.

Figura 36 – Teste de comportamento: “taxa de adesão” e “taxa de processamento”



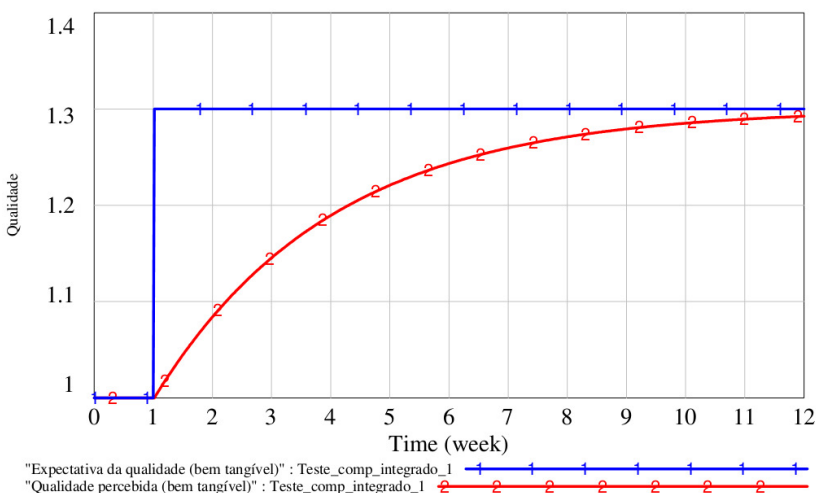
Fonte: o autor.

Portanto, o comportamento do subsistema de prestação conforme os ciclos de realimentação construídos para essa análise é explicitado nas figuras anteriores. Destas, como pode ser observado na Figura 34, com a redução de passo induzido no estoque de consumidores em espera desejados de 20 consumidores para “zero” a atuação do controle dos consumidores na estrutura do subsistema de prestação é eficaz em conduzir esse acúmulo ao valor desejado. Para tal a “correção dos consumidores em espera” passa do valor nulo para 66,6 consumidores por semana (a diferença de 20 consumidores para um tempo de correção de 0,3 semanas). Isso leva ao aumento do taxa de adesão e um ajuste dos consumidores em processo com o sistema voltando ao equilíbrio com 5 consumidores sendo processados por semana. Já para a verificação da resposta da “taxa de processamento desejada” e da “taxa de processamento” com o aumento de passo na “demanda por serviços” de 5 para 10 consumidores/semana. Como é mostrado na Figura 35, a taxa de processamento desejada passa de 5 para 10 consumidores/semana no instante de alteração da demanda ajustando o valor para o aumento gradativo da “taxa de processamento”. Essas variáveis convergem e estabilizam em 10 consumidores/semana com o equilíbrio do sistema. Ainda, conforme o ilustrado na Figura 36 o aumento da demanda por

serviços leva ao aumento imediato na “taxa de adesão” de 5 para 16,6 consumidores/semana provendo o aumento gradativo na “taxa de processamento”. Pela Figura 36 também se pode verificar que a estrutura que descreve o subsistema de prestação para esta pesquisa torna possível a esse subsistema igualar as entradas de fluxo com as saídas.

O teste isolado de comportamento do subsistema de consumo tem base no modelo de referência (iv) exposto no Quadro 15. Também esses subsistemas são isolados do restante do sistema e conforme salientado no modelamento matemático a indução da perturbação no sistema é feita pela “expectativa da qualidade”. Portanto, no instante 1 (semana) foi induzido um aumento de passo de 30% nessa variável em ambos os modelos do subsistema de consumo. O comportamento resultante referente à percepção da qualidade do bem tangível é mostrado na Figura 37 e o referente à percepção da qualidade do serviço na Figura 38. Neste teste o “tempo de correção da qualidade percebida (bem tangível)” é configurado para 3 semanas, enquanto o “tempo de correção da qualidade percebida (serviço)” para 1 semana.

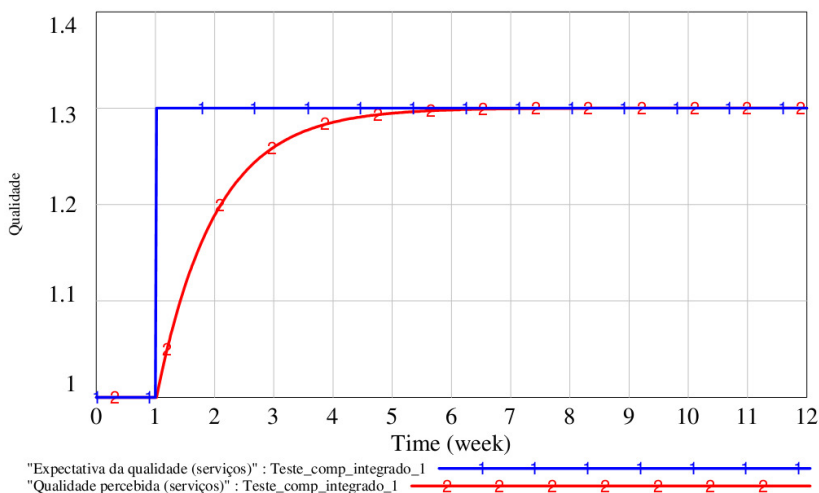
Figura 37 – Teste de comportamento: percepção da qualidade (bem tangível)
Teste de comportamento - subsistema de consumo



Fonte: o autor.

Figura 38 – Teste de comportamento: percepção da qualidade (serviço)

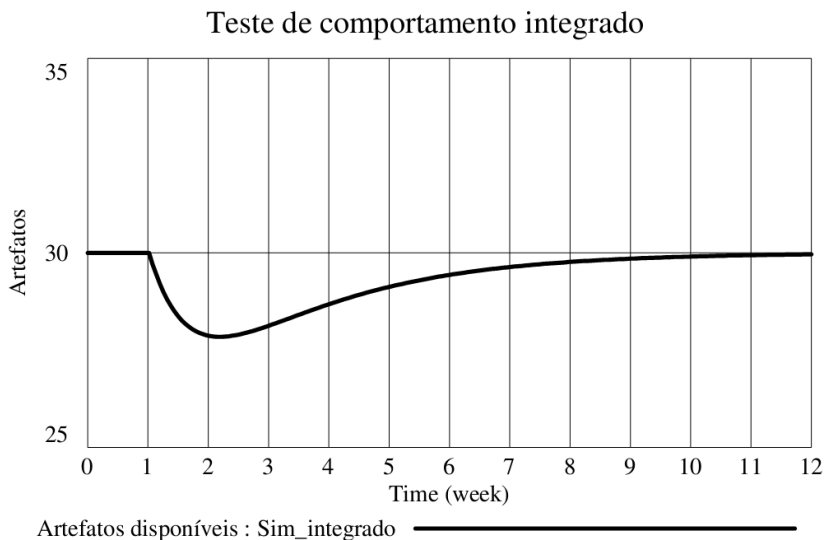
Teste de comportamento - subsistema de consumo



Fonte: o autor.

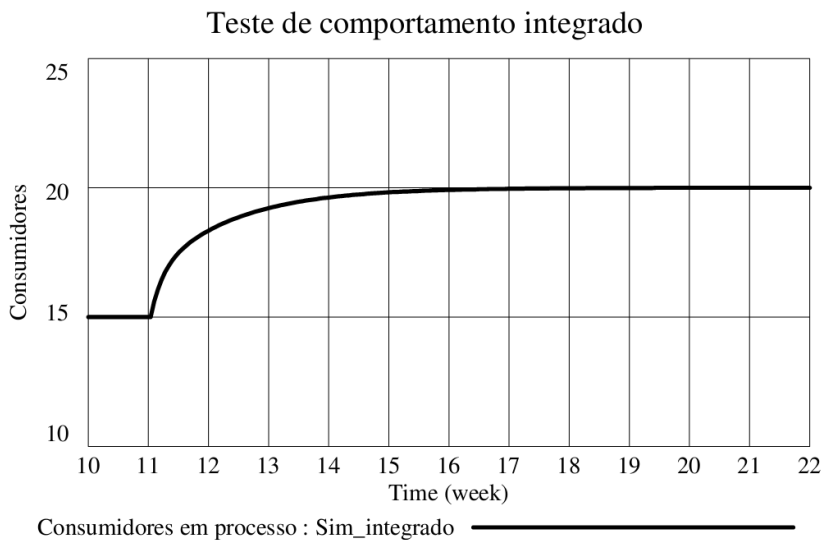
Por fim, para conferência do comportamento condizente do sistema quando integrado os subsistemas de produção e prestação foram associados e testados a partir da indução de um aumento de passo na “demanda de referência”. Pela análise deste teste é possível se certificar da correta associação entre a solicitação ao sistema produtivo e seu reflexo no desempenho do sistema de prestação. Por coerência aos testes anteriores referentes a cada subsistema as constantes de tempo permaneceram com os valores já configurados. A DR foi configurada para 15 artefatos/semana do instante 0 ao instante 1 (semana). A partir do instante 1 (semana) essa demanda passa para 20 artefatos/semana. O “estoque desejado” para o subsistema de produção é configurado para 30 artefatos e o estoque “consumidores em espera desejados” para zero. A “demanda por serviços” é configurada para uma “defasagem” de 10 semanas. Assim, a Figura 39 mostra o indicador “artefatos disponíveis” referentes ao subsistema de produção enquanto o indicador “consumidores em processo” (para o subsistema de prestação) é mostrado na Figura 40.

Figura 39 – Teste de comportamento integrado: artefatos disponíveis



Fonte: o autor.

Figura 40 – Teste de comportamento integrado: consumidores em processo



Fonte: o autor.

Com o aumento da “demanda de referência” mais produtos passam a ser consumidos no instante 1 (semana). Isso se reflete em uma redução do estoque de “artefatos disponíveis” que é compensado ao longo do tempo voltando ao equilíbrio desejado de 30 artefatos como mostra a Figura 39. Já o reflexo dessa alteração da demanda de referência no subsistema de prestação ocorre no instante 11 (semanas) como pode ser visto na Figura 40 que representa o comportamento dos “consumidores em processo”. Com o aumento do consumo de produtos também mais consumidores passam a ser processados passando a um novo equilíbrio de 20 consumidores processados por semana.

5.2.3.2 Teste de condições extremas

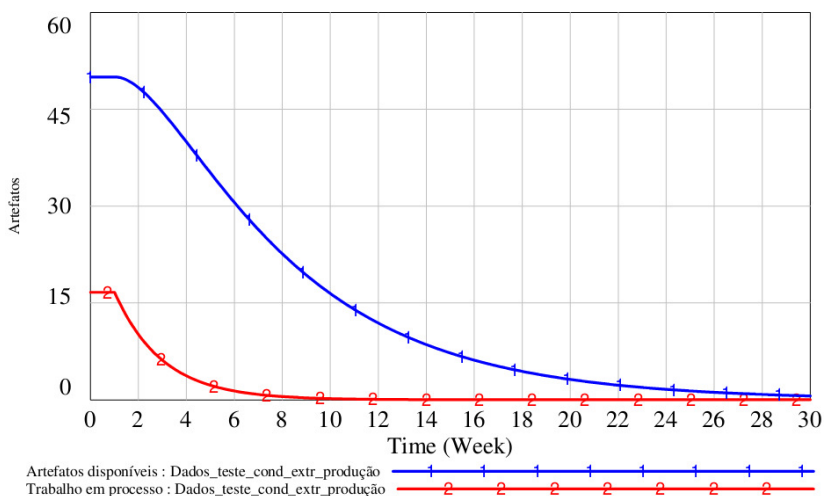
O teste de condições extremas consiste em ajustar o modelo com parâmetros próximos a limites. Dessa maneira o comportamento produzido é comparado ao que seria apresentado pelo sistema de referência nessas condições.

Para este teste o subsistema de produção continuou ajustado como na realização do teste de comportamento, inclusive isolado do restante do modelo. Contudo, o “estoque desejado” com valor inicial de 50 unidades é ajustado para assumir o valor “0” no instante 1 (semanas). A Figura 41 mostra o comportamento das variáveis do subsistema de produção frente a este evento no sistema pelos indicadores “artefatos disponíveis” e “trabalho em processo”. Também as variáveis “taxa de conclusão da produção” e a “taxa de entrega” evoluem para o valor “0” quando o estoque desejado é nulo como mostra a Figura 42.

Já no subsistema de prestação, para verificar a consistência do modelo em condições extremas, a variável “demanda por serviços” foi configurada para o valor inicial de 20 (consumidores) sendo ajustada para assumir o valor “0” no instante 1 (semana). Isto simula a atuação deste subsistema para a redução de um excesso de consumidores em processo. Os valores das demais variáveis e constantes continuaram como ajustadas para a realização do teste de comportamento. A Figura 43 mostra a resposta da variável “consumidores em processo” para essa mudança na demanda, enquanto a Figura 44 mostra a resposta das variáveis “taxa de adesão” e “taxa de processamento”.

Figura 41 – Teste de condições extremas: subsistema de produção (estoques)

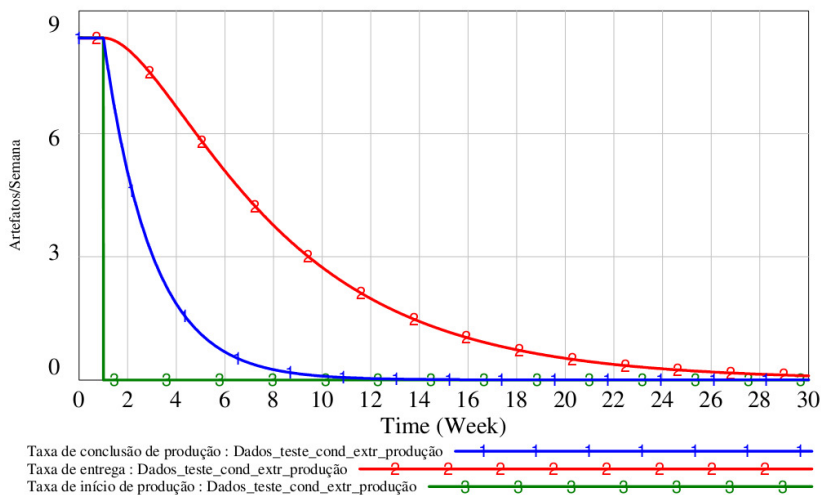
Teste de condições extremas - subsistema de produção



Fonte: o autor.

Figura 42 – Teste de condições extremas: subsistema de produção (taxas)

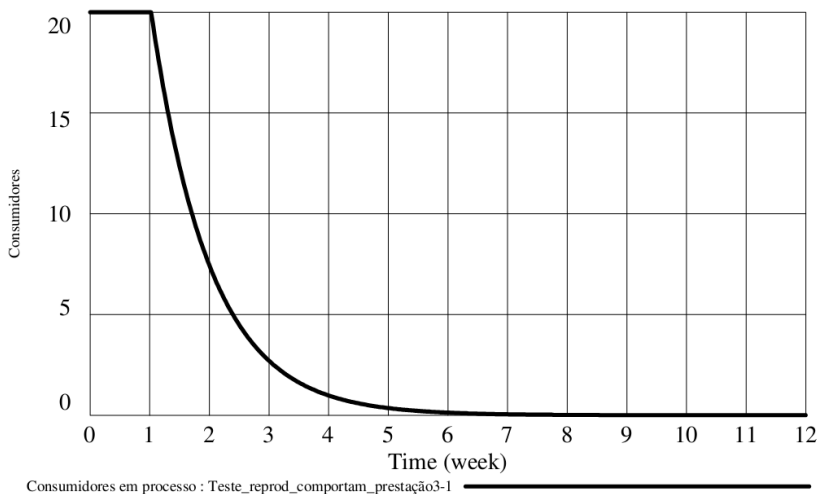
Teste de condições extremas - subsistema de produção



Fonte: o autor.

Figura 43 – Teste de condições extremas: subsistema de prestação (estoques)

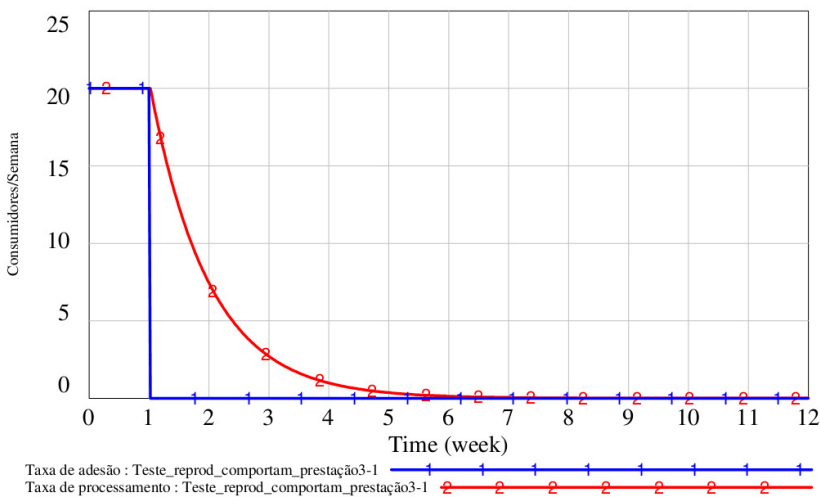
Teste de condições extremas - subsistema de prestação



Fonte: o autor.

Figura 44 – Teste de condições extremas: subsistema de prestação (taxas)

Teste de condições extremas - subsistema de prestação



Fonte: o autor.

Assim, no subsistema de prestação com a redução repentina na demanda imposta como condição extrema a “taxa de adesão” também assume o valor nulo. Já a “taxa de processamento” reduz à medida que o estoque de “consumidores em processo” também reduz, ambas evoluindo para o valor “0”. Esses comportamentos se mostram condizentes com o esperado para um sistema real.

5.2.3.3 Teste de robustez

Referente à robustez do modelo de fluxos e estoques do subsistema de produção, sendo que também pode ser tomado como referência o apresentado pelas Figura 41 e Figura 42, por mais que o sistema apresente excessos de material em trabalho (16,6 artefatos no instante “1”) e artefatos disponíveis (50 unidades no mesmo instante) o “trabalho em processo” e a “taxa de conclusão de produção” nunca assumem valores negativos, o que indicaria um “contra” início de produção e uma tentativa de retirada de trabalho em processo, não condizente com as ações de controle da produção. Da mesma maneira no subsistema de prestação (conforme as Figura 43 e Figura 44) mesmo com excesso de “consumidores em processo” (20 consumidores no instante “1”) a “taxa de adesão” e a “taxa de processamento” também não assumem valores negativos o que representaria, em ambos os casos, a tentativa de retirada de consumidores em processo pelos gestores antes da conclusão do processamento.

5.2.3.4 Teste de erro de estado estacionário

No erro de estado estacionário, a saída do sistema nunca assume um valor igual à entrada, mesmo após o equilíbrio³⁵. Quanto a este aspecto, o sistema de produção como já mostrado na Figura 33 os ciclos de realimentação de controle são eficazes em convergir a “taxa de entrega” (saída do fluxo do sistema) à “taxa de início da produção” (entrada do fluxo do sistema). O mesmo ocorre com a “taxa de processamento” (saída) e a “taxa de adesão” (entrada) no subsistema de prestação (conforme mostrado na Figura 36).

³⁵ O sistema está em equilíbrio quando é decorrido tempo suficiente para que o ajustamento transiente entre as variáveis cesse.

5.2.3.5 Teste de erro em regime permanente

O erro em regime permanente correspondente à lacuna entre os estados desejados e efetivos que persiste com o sistema em estado de equilíbrio. Neste sentido, conforme já ilustrado na Figura 31 e na Figura 34 os ciclos de realimentação efetuam a convergência desses estados tanto no subsistema de produção quanto no de prestação.

Com isso a etapa de teste é encerrada. Para a função exploratória que o modelo se propõe podem ser consideradas válidas para a análise as informações obtidas de tal modelo desde que resguardadas as devidas considerações e limitações. No próximo capítulo são expostas as projeções do comportamento obtidas do modelo em um processo definido de simulação. São com essas projeções que o comportamento do sistema pode ser analisado.

6 PROJEÇÃO DE CENÁRIOS E ANÁLISE

Nesse capítulo são expostos os resultados obtidos pela simulação computacional. Inicialmente, no entanto, é descrito um caso de referência para interpretação desta etapa da pesquisa correlacionada a uma situação prática do mercado. O processo de simulação da sequência ao capítulo culmina em um conjunto de informações gráficas, os cenários. Esse conjunto é segmentado em função das condições estabelecidas para a simulação permitindo a análise do comportamento do sistema. Essa análise e também as diretrizes e recomendações resultantes encerram, portanto, o exposto neste capítulo.

6.1 CASO DE REFERÊNCIA

Este tópico apresenta um caso referenciado pela literatura especializada que pode ser tomado como referência por enquadrar-se nessa perspectiva de análise. Esse caso é brevemente explanado salientando a correspondência com essa pesquisa. O objetivo da consideração de um caso consiste em prover suporte a melhor compreensão e possibilitar analogias para a interpretação da pesquisa. Para tal é tomado como referência o caso envolvendo o fabricante Caterpillar (LOVELOCK; WIRTZ; HEMZO, 2011) por englobar um produto industrializado em um segmento mecânico.

A Caterpillar é fabricante de equipamentos pesados de terraplanagem e construção. Para complemento de seu negócio fabril este fabricante desenvolveu um portfólio de serviços que configura diferentes módulos (termo empregado até então nesta pesquisa). Conforme Lovelock, Wirtz e Hemzo (2011) esses módulos consistem em:

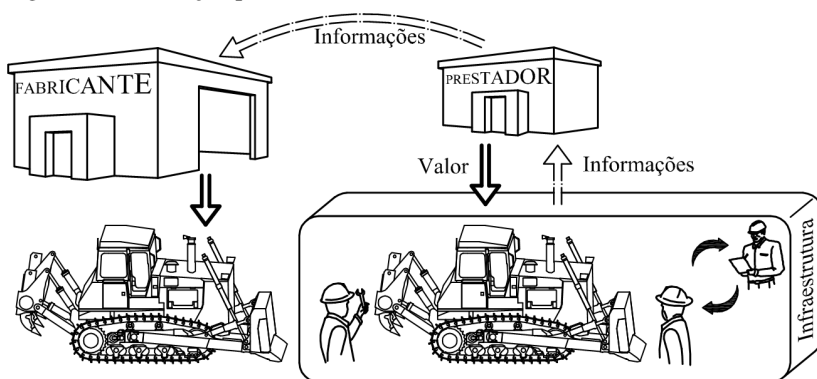
- *Cat Financial* – serviço de crédito;
- *Cat Insurance* – serviço de proteção do equipamento contra danos;
- *Cat Rental Stores* – estabelece uma rede de revendedores com uma diversidade de soluções periódicas;
- *Cat Logistics* – serviço de planejamento e gestão de cadeias de suprimentos;
- *Equipment Training Solutions Group* – serviços cujo conteúdo engloba cursos de treinamento para o uso do produto focado na produtividade;

- *Maintenance and Support* – esses serviços englobam tanto o fornecimento de kits de manutenção quanto soluções com garantia de desempenho otimizado e custos reduzidos;
- *Remanufacturing* – serviços de recuperação, limpeza e reforma.

O sistema formado pelo bem tangível e os módulos de serviço podem se enquadrar tanto em uma relação comercial B2B quanto B2C. Dependendo do módulo empregado o sistema pode ser classificado como orientado ao bem tangível (serviços de crédito), ao uso (serviços de treinamento) ou orientado ao resultado (como os serviços logísticos).

Por se tratar de um serviço de ordem técnica, guardando coerência com a descrição do contexto, a Figura 45 ilustra a associação do bem tangível deste fabricante com o módulo de serviço de “manutenção”. Portanto a adição de valor ocorre com a aplicação das atividades de manutenção. Essa figura representa um contexto que engloba os fluxos físicos e de informação, essa última com origem do consumidor. A coleta de dados referentes ao valor, ao uso e ao desempenho desse produto que podem orientar a atuação nos parâmetros de desempenho como a eficiência dos equipamentos ou melhorias nos atributos de operação. Contudo as melhorias também podem ser orientadas à viabilização dos serviços, não só pela facilidade de manutenção que pode ser conferida ao artefato físico por orientações de desenvolvimento específicas, como o aperfeiçoamento dos próprios procedimentos de serviços.

Figura 45 – Ilustração pictórica do caso de referência



Fonte: o autor.

A representação da Figura 45 utiliza a estrutura ilustrativa já empregada na fundamentação teórica referente à organização do PSS

evidenciando a organização dos *stakeholders* para a entrega do valor. Nesse sentido o fabricante é representado disponibilizando o valor referente ao bem tangível no sistema enquanto que um módulo de serviço, nesse caso referente a serviços técnicos de manutenção, é agregado na extensão da rede de criação de valor. Também conforme o contexto, o ingresso no sistema ocorre com a aquisição do artefato físico. Então, o pacote de valor nesse caso corresponde aos benefícios proporcionados pelo equipamento adicionados dos benefícios resultantes das atividades de manutenção como, por exemplo, o aprimoramento do desempenho desse equipamento.

Para os fins de simulação os valores empregados ao modelo e que definem a interação entre esses *stakeholders* são adotados em coerência aos dados utilizados para os testes. Esses valores são todos explicitados nas seções referentes a própria simulação computacional.

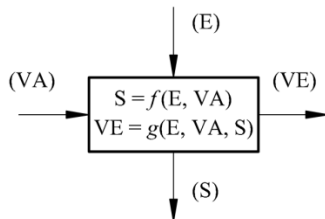
Outros casos de referência também poderiam ser apontados como, por exemplo, o sistema denominado “*Total-Care Package*” (BAINES et al., 2007), mas também referenciado na literatura por “*Power by the Hour*”, englobando o fabricante Rolls-Royce responsável pela produção de turbinas para o segmento aeronáutico. Outro exemplo envolve o fabricante de máquinas de lavar roupas Electrolux (BAINES et al., 2007) que com a agregação de serviços passa a comercializar “soluções em lavagem”. Neste a relação comercial ocorre no contexto B2C e também é caracterizada pela agregação de serviços técnicos. Também Sistemas Produto-Serviços enquadrados em outros segmentos industriais como o caso Parkersell (MEPSS WEBTOOL, [2011?]) realizado com o emprego da metodologia para desenvolvimento de PSS MePSS. Assim, apesar da diversidade que os Sistemas Produto-Serviço podem assumir a perspectiva desenvolvida oferece uma possibilidade de representação genérica de certos casos citados na literatura.

6.2 CONSIDERAÇÕES PARA A SIMULAÇÃO

A simulação computacional utilizando o modelo quantitativo permite analisar o comportamento de um sistema e testar ações frente ao seu desempenho em um “mundo virtual” (STERMAN, 2000). De maneira prática, a simulação permite estimar o impacto da alteração das variáveis de entrada nas variáveis de saída. Neste ponto de vista, conforme representado na Figura 46, o comportamento do sistema pode ser representado genericamente pela saída (S) ou consequência como uma função das variáveis de entrada (E) e das variáveis de ação (VA). Essas últimas representam os meios pelos quais se pode intervir no

sistema. Esse comportamento pode ser observado ou monitorado com auxílio das variáveis essenciais (VE), que são variáveis de interesse ao estudo e que podem levar a certas conclusões sobre tal comportamento.

Figura 46 – Representação genérica de um sistema



Fonte: Mèlèse (1973).

Classificando as variáveis utilizadas no modelo conforme o exposto anteriormente, as entradas do sistema (E) consistem nas restrições operacionais para a atuação no bem tangível e no serviço. Além destas também é considerada variável de entrada a expectativa da qualidade (bem tangível e serviço) que viabilizam a indução das condições desfavoráveis descritas na seção seguinte. E ainda a demanda de referência ao subsistema de produção também como fator de viabilização da simulação. Ou seja, as variáveis de entrada do modelo são oriundas, em parte, do conhecimento da capacidade dos subsistemas envolvidos, como também das informações coletadas nos processos anteriores de desenvolvimento do PSS referentes às preferências e valores do grupo de consumidores de interesse, e ainda de fatores que viabilizam a simulação.

Já as variáveis de ação (VA) consistem nos fatores dinâmicos influenciados pelos parâmetros e características atribuídos ao produto e definidos pelos métodos e ferramentas específicas na atividade de desenvolvimento deste. No ponto de vista de análise e pelo modelo proposto esses fatores se referem aos principais parâmetros operacionais considerados dos subsistemas de produção (o tempo de ciclo) e prestação (o tempo de prestação). Ou seja, se considera que os esforços de desenvolvimento do produto podem ser direcionados para dois principais objetivos: reforçar a eficiência da produção dos artefatos físicos e reforçar a eficiência da prestação dos serviços associados.

As variáveis essenciais (VE) fornecem os indicadores do sistema. Na estrutura do modelo essas variáveis representa o estado dos três subsistemas no contexto dinâmico. Então, para o subsistema de

produção as VE consistem no nível de “trabalho em processo” e no nível de “artefatos disponíveis”. Para o subsistema de prestação essas variáveis correspondem ao nível de “consumidores em espera” e no nível de “consumidores em processo”. Já para o subsistema de consumo têm-se os indicadores de “qualidade percebida (bem tangível)” e “qualidade percebida (serviço)”.

Já a variável de saída (S) englobada pelo subsistema de prestação corresponde ao número final de “consumidores processados”. Nesta simulação essa variável corresponde ao número de pacotes de valor entregues. Essa classificação das principais variáveis e constantes do modelo está sintetizada no Quadro 16.

Quadro 16 – Classificação dos principais fatores do modelo

Tipo	Variáveis e constantes do modelo
(E)	Expectativa de qualidade (bem tangível) Expectativa de qualidade (serviço) Tempo de correção da qualidade percebida (bem tangível) Tempo de correção da qualidade percebida (serviços) Demanda de referência Defasagem da demanda por serviços
(VA)	Tempo de ciclo de produção Tempo de prestação
(VE)	Qualidade percebida (bem tangível) Qualidade percebida (serviço) Artefatos disponíveis Trabalho em processo Consumidores em espera Consumidores em processo
(S)	Consumidores processados

Fonte: o autor.

Como evidenciado no Quadro 16 a simulação tem base em uma demanda de referência. Para os fins de simulação deste modelo, evidenciando as ações de ajuste do sistema pelos ciclos de realimentação e dando condições para que o sistema seja analisado em diferentes níveis de solicitações, a demanda de referência (*DR*) foi representada por uma função senoidal variando entre os picos de 10 e 20 artefatos/semana no período de um ano. Isto é descrito na equação (31) utilizando a variável de tempo (*t*) que no ambiente de simulação insere o intervalo de integração e nesse modelo é dado em “semanas”. Ainda, como mostrado nessa equação, a demanda de referência está

condicionada à percepção do consumidor da qualidade referente ao bem tangível (inserida pelo termo *QSA*). Conforme abordado na seção 4.4.3 a qualidade satisfeita referente ao bem tangível (*QSA*) é função da percepção e da expectativa da qualidade segundo o consumidor. Este termo é inserido na equação referente à *DR* como condicionante para o ingresso no sistema, assim como a taxa de adesão está condicionada à percepção da qualidade do serviço.

$$DR = \left\{ 15 + \left[5 \cdot \sin \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{12} \right) \right] \right\} \cdot QSA \quad (31)$$

A demanda por serviços, modelada pela relação de um artefato gerando um consumidor, mantém o mesmo valor que a demanda de referência. Como o emprego dos serviços se dá com uma defasagem de tempo da aquisição dos artefatos a demanda por serviços é inserida utilizando a função “*DELAY FIXED*” no emprego do *software* Vensim PLE. Por isso no Quadro 16 e também nos tópicos posteriores tratando as projeções de cenários é feita referência à “defasagem da demanda por serviços”. Os valores das constantes do modelo são expostos no tópico referente à projeção dos cenários, contudo, salienta-se que a análise desses cenários o foco está no comportamento gráfico no tempo das VE e da saída. Diferentes valores de constantes produziram cenários com amplitudes e defasagens diferentes, porém ainda com a mesma característica do comportamento de seus fatores no tempo.

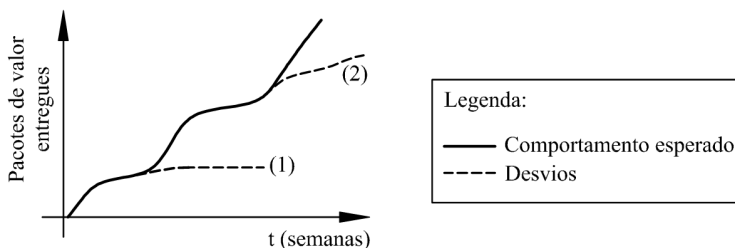
O método de integração “Euler” foi empregado para em todas as projeções de comportamento simuladas. Também como configuração específica para a simulação Forrester (1961) recomenda para a definição do intervalo de integração (*dt*) a utilização de 1/4 a 1/10 do valor da menor constante de tempo integrante do modelo. Respeitando essa recomendação o intervalo de integração foi utilizado como 1/5 do valor da menor constante de tempo. Como as diferentes condições de simulação podem utilizar constantes de tempo variadas o valor específico do intervalo de integração é indicado para as projeções em específico. Essas diferentes condições são explanadas na sequência, na seção específica acerca da simulação computacional realizada.

6.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação proposta nesta pesquisa consiste em (i) inicialmente ajustar as constantes utilizadas para que o sistema acompanhe a demanda de referência. Assim, o sistema reproduz um comportamento

favorável de referência, robusto e isento de erros específicos da utilização da linguagem de modelamento. Na sequência da simulação, tendo em vista que o comportamento dinâmico pode ser considerado como as reações diversas às perturbações que afetam o desempenho do PSS impondo algum risco a este (PHUMBUA; TJAHJONO, 2011), (ii) os fatores de interferência no sistema são configurados para condições desfavoráveis. A Figura 47 ilustra por um esboço o desempenho dinâmico da entrega de valor observando as pressuposições da demanda de referência como uma representação senoidal.

Figura 47 – Esboço do desempenho dinâmico da entrega de valor



Fonte: o autor

Nesse desempenho, como é mostrada na Figura 47, a condição favorável produz um “comportamento esperado” em que a quantidade de pacotes de valor entregues apresenta sempre algum crescimento determinado pela demanda de referência. Já para as condições desfavoráveis são deduzidos dois desvios em que o desempenho do sistema é tido como indesejável: (1) quando não há um aumento da quantidade de pacotes de valor entregues e (2) quando o aumento da quantidade de pacotes de valor entregues é menor que o esperado. Na sequência, são conduzidas as simulações projetando cenários específicos de interesse para a análise. Os valores das constantes utilizadas na simulação são devidamente expostos, contudo, sendo a estrutura do sistema (definida pelo modelo proposto) o determinante para o seu comportamento, a análise dos cenários consiste na interpretação do comportamento gráfico no tempo das variáveis essenciais e da variável de saída. Como já salientado, o emprego de diferentes valores às constantes utilizadas na simulação produz diferentes defasagens e amplitudes, contudo o comportamento apresentado é análogo.

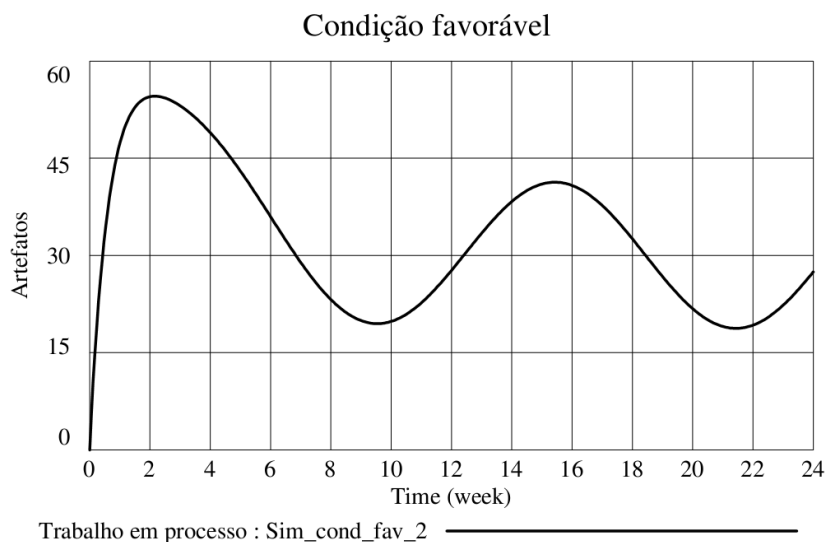
6.3.1 Condição favorável

No cenário que representa a condição favorável de referência a percepção da qualidade oferecida pelo sistema é coerente com a expectativa de qualidade do consumidor. Portanto a expectativa de qualidade (referente ao bem tangível e ao serviço) é configurada para “1”. As constantes de tempo do modelo permaneceram com os valores utilizados para os testes de validação do modelo. Além de reproduzirem o comportamento de referência estão em concordância com o exposto por Sterman (2000) em que o tempo de correção do estoque (demandando conferência e procedimentos específicos que consomem tempo e recursos) é sempre maior que o tempo para correção do trabalho em processo. Da mesma maneira o valor do tempo requerido para correção do trabalho em processo utilizado é superior ao tempo de ciclo. Isso também é aplicado ao subsistema de prestação em que já na etapa de testes o “tempo de correção dos consumidores em processo” utilizado é superior ao “tempo de correção dos consumidores em espera”. A “defasagem da demanda por serviços” é definida para cinco semanas. Ainda, o intervalo de integração é definido em: $dt = 1/5 \cdot 0,3 = 0,06$.

Com o *software* devidamente configurado a simulação é realizada. Como a demanda de referência exerce as solicitações ao subsistema produtivo então este subsistema é abordado inicialmente. Expondo a dinâmica apresentada por esse a Figura 48 apresenta a projeção gráfica do comportamento do indicador “trabalho em processo”. Como não foram consideradas quantidades iniciais desse trabalho, assim como de artefatos disponíveis em estoque, o início de produção é mais acentuado. Apesar da estrutura de decisão demandar fatores de influência específicos para reproduzir a inércia de início de produção, com a ação do ciclo de controle do trabalho em processo sua variação passa a acompanhar a variação do próprio estoque de artefatos disponíveis dada pela demanda.

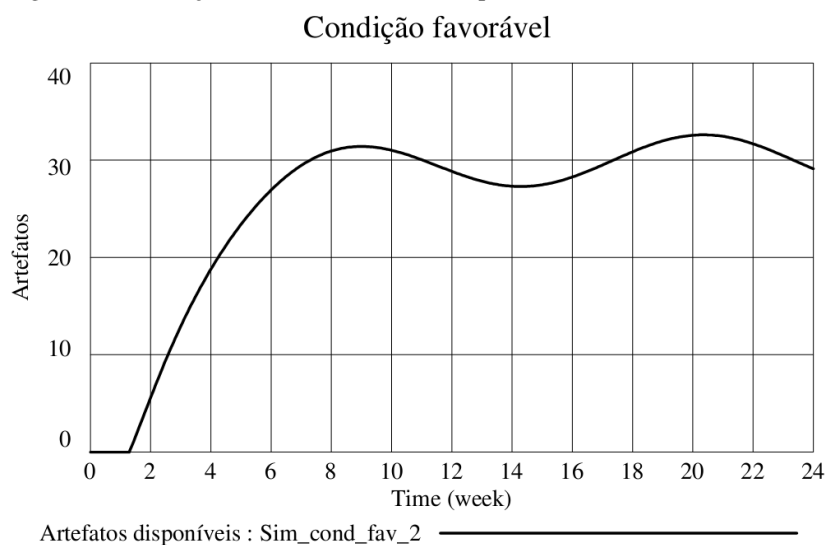
Assim como para o trabalho em processo também não foram consideradas quantidades iniciais de estoque de “artefatos disponíveis”. Pela Figura 49 se pode verificar que à medida que o trabalho em processo é concluído passa a haver “disponibilidade de valor” para atendimento das solicitações ao sistema. A alimentação ao estoque é tal que compensa as retiradas pela demanda e conduz ao nível desejado, contudo flutuando pela ação de correção desse consumo. Assim, depois de decorrido um tempo o estoque de artefatos disponíveis passa a acompanhar as variações da demanda. Isso confere a disponibilidade de valor ao longo do horizonte de simulação.

Figura 48 – Condição favorável: “trabalho em processo”



Fonte: o autor.

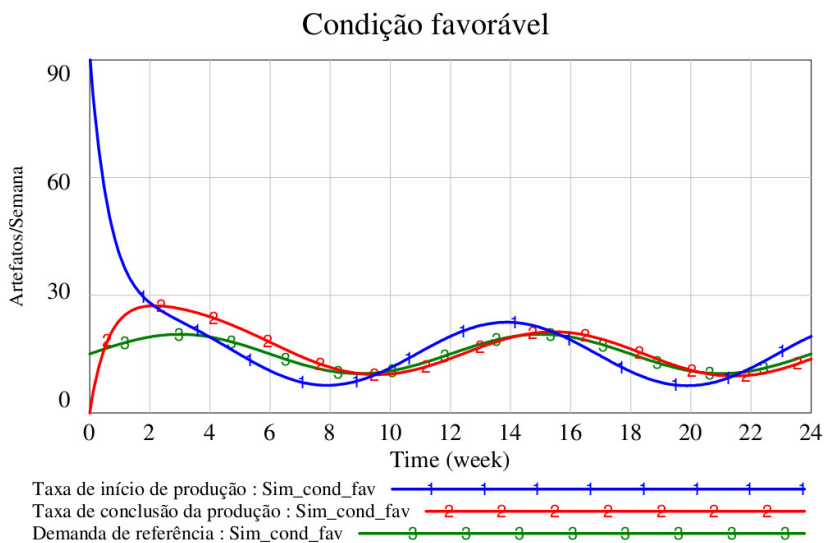
Figura 49 – Condição favorável: “artefatos disponíveis”



Fonte: o autor.

Mesmo não classificadas como VE, mas contribuindo para a compreensão dos gráficos anteriores, adicionalmente são mostradas na Figura 50 as representações gráficas da demanda e das taxas de início e conclusão da produção. Para a alocação do trabalho em processo e a condução do estoque de artefatos disponíveis para o acompanhamento da demanda a “taxa de início de produção” (sem restrições) tem um aumento súbito também provocando um aumento mais acentuado da “taxa de conclusão da produção” em virtude do estado inicial da produção. A taxa de início da produção apresenta uma defasagem ao longo do horizonte de simulação em relação à taxa de conclusão e à demanda de referência. Essa defasagem ocorre em função do tempo de ciclo de produção e do tempo demandado para a correção do trabalho em processo. Já a “taxa de conclusão da produção” ao longo do horizonte de simulação aproxima-se do valor da demanda ao sistema produtivo.

Figura 50 – Condição favorável: taxas (subsistema de produção)

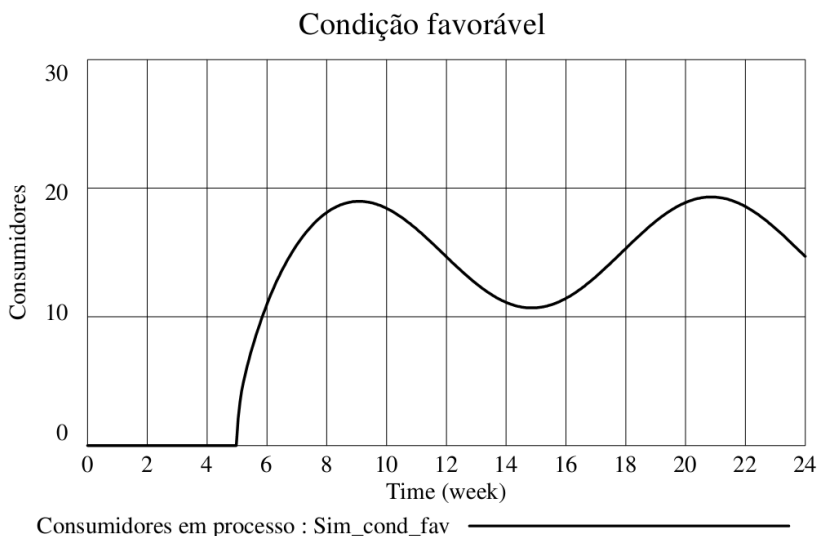


Fonte: o autor.

Já referente ao subsistema de prestação, como representado na Figura 51, a atuação do controle de prestação ocorre com a solicitação pela “demanda por serviços”. Como essa demanda é inserida com uma defasagem em relação à demanda por produtos de cinco semanas essa relação fica evidenciada uma vez que o processamento dos

consumidores inicia na quinta semana do horizonte de simulação. Também não sendo considerados consumidores em processo no instante inicial o aumento destes se inicia do valor “zero”, gradualmente processa o pico inicial de consumidores e ao longo do horizonte ajusta-se à demanda por serviços.

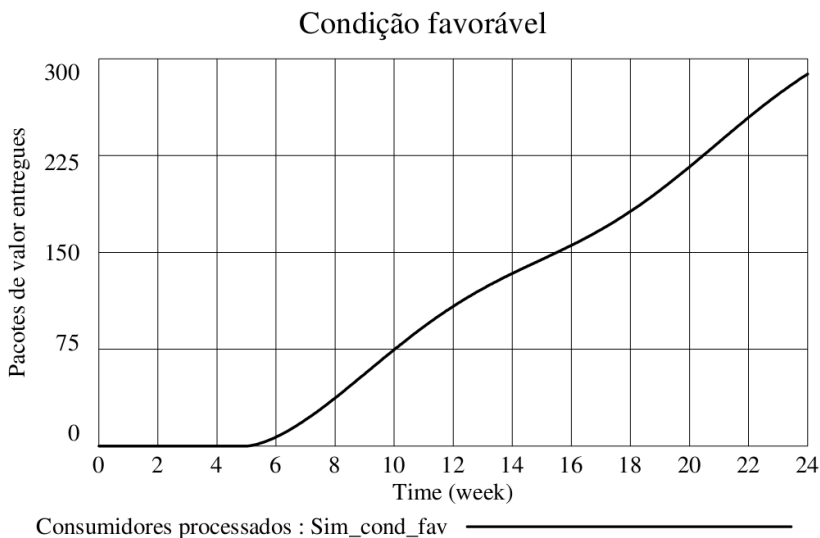
Figura 51 – Condição favorável: “consumidores em processo”



Fonte: o autor.

A partir do comportamento discutido relativo à projeção gráfica das VE do modelo o comportamento apresentado pela saída do sistema (os consumidores processados que nesse contexto representa a entrega do pacote de valor) também pode ser analisado. Como pode ser observada pelo comportamento gráfico representado na Figura 52 a entrega de valor inicia-se com a conclusão do processamento dos primeiros consumidores. Portanto, pode ser distinguida uma pequena inércia no aumento da quantidade de consumidores processados em função da configuração inicial do modelo e da estrutura de decisão que o controla. Contudo, a quantidade de consumidores processados passa a aumentar determinada pela taxa da demanda e pelas constantes do sistema.

Figura 52 – Condição favorável: “consumidores processados”



Fonte: o autor.

A quantidade de “consumidores processados” ao longo do horizonte de simulação conduzida para a condição favorável apresenta o comportamento esperado de crescimento. As variações desse crescimento se devem às diferentes taxas de produção e processamento orientadas pela flutuação senoidal induzida para a “demanda de referência”. Isso é viabilizado pelas estruturas sistêmicas atuando para prover a “disponibilização do valor” e o “processamento de consumidores” e, portanto, contribuindo com a facilidade de obtenção e consumo do valor.

Nessa condição favorável, contudo, a percepção da qualidade entregue permaneceu constante e igual à expectativa. Condições diferentes dessa são abordadas nas condições desfavoráveis expostas na sequência.

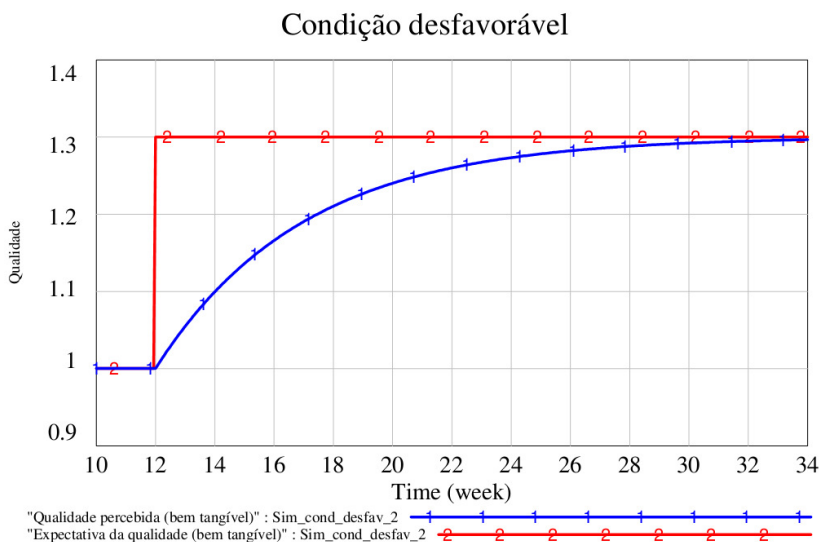
6.3.2 Condição desfavorável (bem tangível)

As condições desfavoráveis são estabelecidas quando a expectativa da qualidade supera a percepção da qualidade que pode ser dada como reflexo da entrada no mercado de um produto, serviço ou um novo sistema similar ou concorrente. Conforme o modelo proposto essa expectativa pode ser relativa ao bem tangível ou ao serviço. Portanto,

em um primeiro momento a simulação é conduzida como na condição favorável, mas com a indução de um aumento de 30% na expectativa da qualidade relativa ao bem tangível. Essa indução é feita no instante 12 (semanas). O intervalo de integração utilizado para a projeção do comportamento continuou definido para 0,06.

Nessa condição o incremento na expectativa gera uma diferença entre essa e a percepção da qualidade havendo, então, a atuação do ciclo de “controle da qualidade do bem tangível” na condução da percepção para um novo estado de igualdade. A Figura 53 representa a intervenção no bem tangível com sua consequência na percepção da qualidade do consumidor resultante da atuação do ciclo de controle. Como a satisfação com a qualidade é uma condicionante da demanda ao sistema produtivo essa demanda é interrompida no instante de indução do acréscimo na expectativa.

Figura 53 – Condição desfavorável (bem tangível): “expectativa e percepção da qualidade”

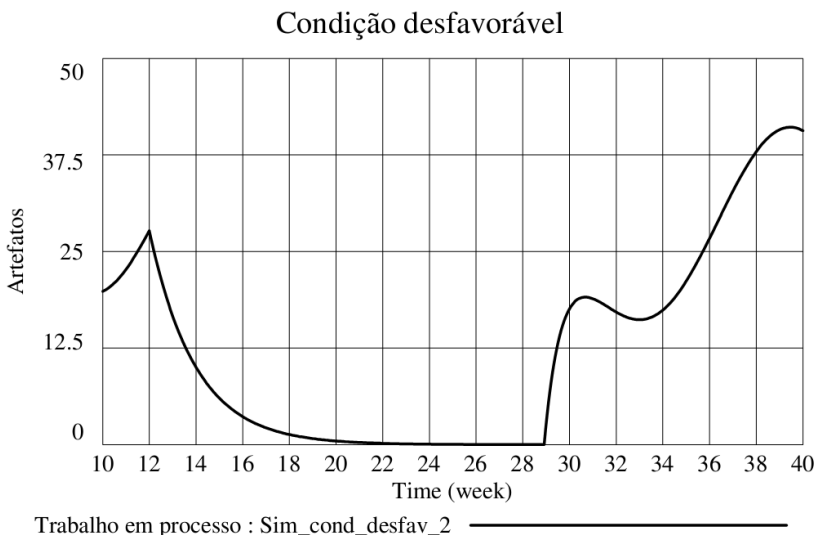


Fonte: o autor.

Com a interrupção da demanda ao sistema produtivo a “taxa de entrega” que acompanhava a flutuação senoidal da demanda de referência também é interrompida. Frente a esse evento a estrutura de decisão que constitui o modelo proposto interrompe o início da produção sendo que o “trabalho em processo” já existente é concluído

pela “taxa de conclusão da produção” que tem uma redução gradual até o término do estoque de trabalho em processo. Esse comportamento é mostrado na Figura 54 com a representação da evolução do trabalho em processo, sendo que, com a obtenção do estado de satisfação com a qualidade do produto são retomadas as solicitações ao sistema produtivo. Nesse caso, o nível de trabalho em processo passa a novamente aumentar com a atuação do ciclo de “controle do trabalho em processo”. Esse modelo simplifica muitas questões que poderiam estar envolvidas visto que não são consideradas, por exemplo, condições intermediárias do efeito da percepção da qualidade na demanda pelos produtos, ou restrições de capacidade dos subsistemas. Também políticas alternativas diversas podem ser empregadas para o controle do material em processo neste caso desfavorável.

Figura 54 – Condição desfavorável (bem tangível): “trabalho em processo”

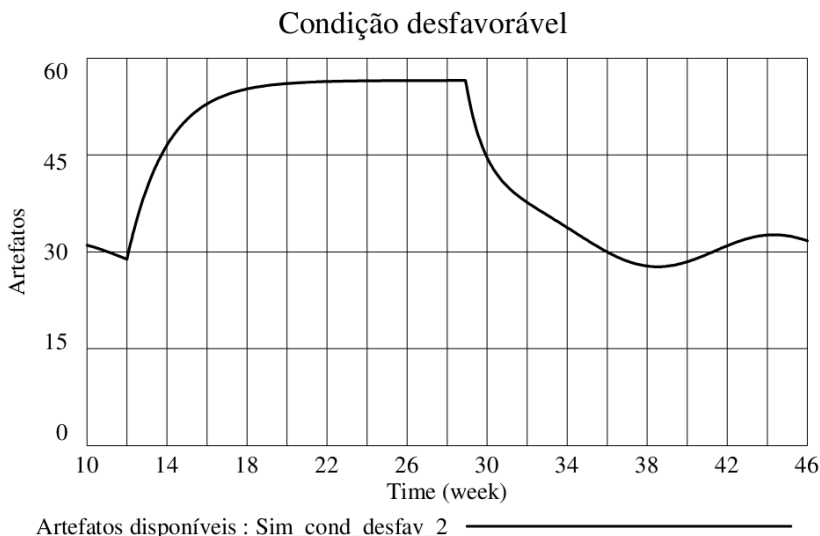


Fonte: o autor.

Em função da estrutura de decisão considerar a conclusão do trabalho já em processo no instante em que a taxa de entrega em valor passa a ser nulo o nível de “artefatos disponíveis” ainda tem um acréscimo. Na retomada da taxa de entrega é considerado o consumo dos itens acabados (situação ilustrada pelo comportamento apresentado na Figura 55). Contudo para casos em que as correções não podem ser agregadas aos artefatos já acabados e mesmo ao trabalho em processo, a

nova confecção desses pode se fazer necessária, consistindo em um caso crítico. Também, em função dos valores atribuídos às constantes de tempo integrantes do modelo, na simulação conduzida a amplitude da interrupção ao sistema produtivo conduz o trabalho em processo ao nível nulo, o que pode não ser praticado visto que políticas alternativas podem ser aplicadas nesta situação.

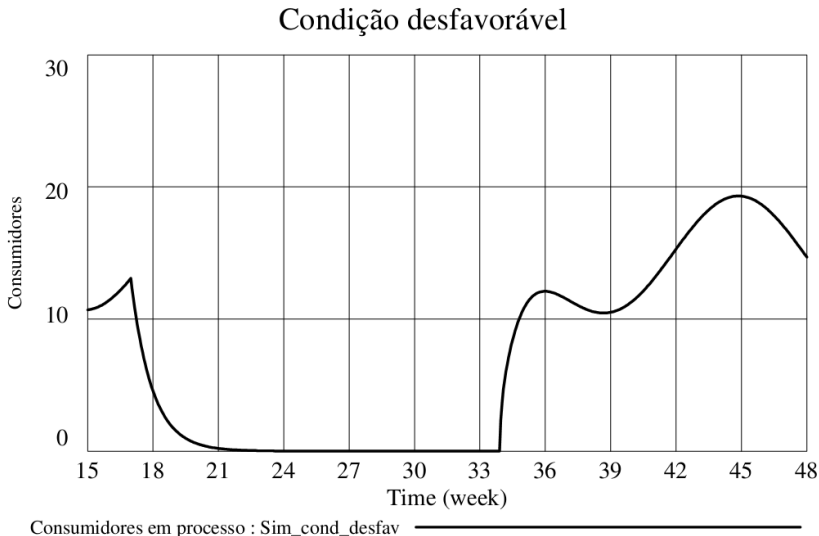
Figura 55 – Condição desfavorável (bem tangível): “artefatos disponíveis”



Fonte: o autor.

O reflexo da redução da demanda por serviços ocorre com a defasagem fixa considerada nesse modelo. Da mesma maneira os consumidores já em processo têm sua conclusão gradativa até o novo reflexo da retomada das solicitações ao sistema. Com a retomada da demanda por bens tangíveis vista a defasagem novos consumidores ingressam também no subsistema de prestação e o nível de “consumidores em processo” volta a acompanhar a flutuação da demanda com a ação dos ciclos de controle. Também neste caso podem estar envolvidas políticas alternativas, mas são reproduzidas pela simulação as considerações conceituais de influência entre os subsistemas de produção e prestação. A Figura 56 representa a falta de demanda ao subsistema de prestação e sua retomada.

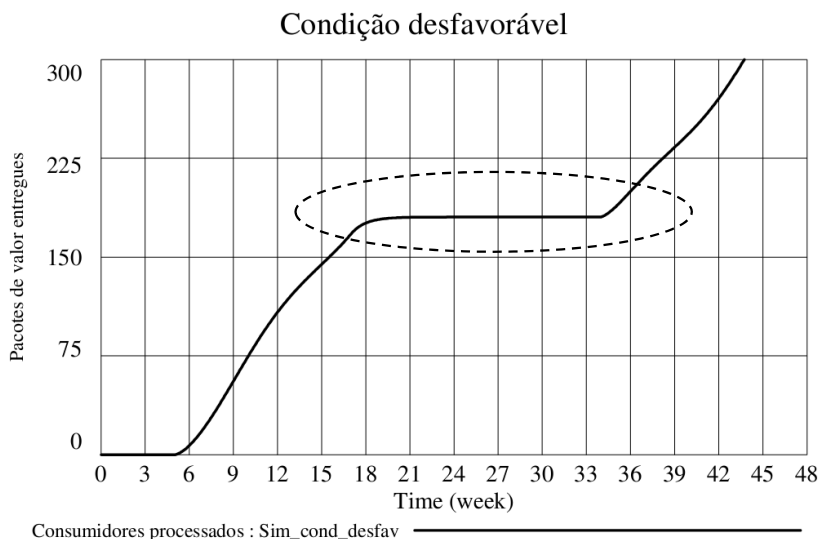
Figura 56 – Condição desfavorável (bem tangível): “consumidores em processo”



Fonte: o autor.

Conforme as descrições anteriores referentes às variáveis essenciais analisadas o comportamento dessas pode agregar outros fatores de influência de estruturas de decisões específicas. Nesta simulação a estrutura sistêmica responsável pela correção da qualidade do bem tangível conduz o sistema novamente ao comportamento esperado. Essa estrutura representa a atuação da atividade de desenvolvimento no contexto de realização do PSS. A Figura 57 evidencia os desvios gerados por um acréscimo na expectativa do consumidor referente ao bem tangível oferecido pelo sistema na quantidade de consumidores processados.

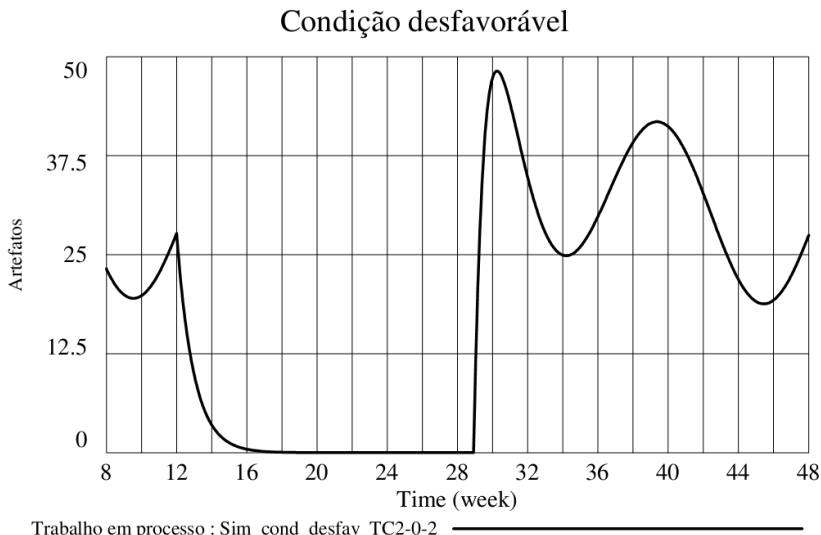
Figura 57 – Condição desfavorável (bem tangível): “consumidores processados”



Fonte: o autor.

Mas, como salientado anteriormente em relação ao comportamento do estoque de artefatos disponíveis um caso crítico consiste na impossibilidade de agregação das correções de qualidade aos artefatos concluídos e ao trabalho em processo. Frente a essa questão um novo cenário é projetado considerando a “perda” do estoque de artefatos disponíveis e do trabalho em processo quando da indução do incremento na expectativa. Contudo, nesse cenário a correção da qualidade do produto agrega também uma redução do tempo necessário para a confecção do produto (o tempo de ciclo). Essa consideração, conforme ilustrado no diagrama conceitual, reside na possibilidade de ênfase à confecção do artefato físico com a aplicação das práticas e princípios de desenvolvimento do produto conforme as abordagens específicas DFX (nas quais se enquadrariam, por exemplo, o DFM e/ou o DFA). Assim, pode ser verificado o reflexo da atuação no bem tangível para, além de conferir o novo patamar de qualidade desejado também favorece a disponibilidade de valor no sistema. Nesse sentido, para a comparação dos cenários a Figura 58 mostra a retomada da produção para um estoque nulo de artefatos disponíveis considerando um tempo de ciclo de 2 (semanas) após a obtenção do novo patamar exigido à percepção de valor.

Figura 58 – Condição desfavorável (bem tangível): “trabalho em processo” para $TeC=2sem.$

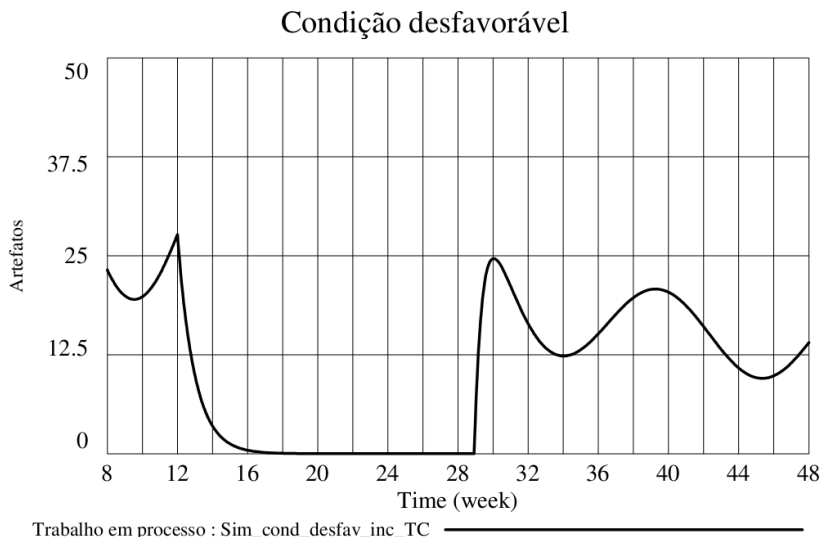


Fonte: o autor.

O tempo de ciclo de duas semanas consiste na condição original de simulação, não considerando sua redução. Assim, em contraponto a Figura 59 ilustra a mesma situação de retomada de produção com estoque nulo, contudo, com o TeC reduzido para uma semana como resultante da intervenção no produto.

Como se poderia pressupor a retomada da produção engloba uma menor quantidade de “trabalho em processo”, proporcional à redução do tempo de ciclo. Como não é considerado o acúmulo da população referente à demanda de referência o comportamento do sistema engloba apenas a retomada ao atendimento dessa demanda.

Figura 59 – Condição desfavorável (bem tangível): “trabalho em processo” para TeC=1sem.



Fonte: o autor.

Com a consideração de um intervalo de tempo fixo para a demanda por serviços após a obtenção do novo patamar de qualidade referente ao bem tangível a redução do tempo de ciclo não afeta o subsistema de prestação. Porém, a seguir a condição desfavorável ao sistema é conduzida com impacto no subsistema de prestação.

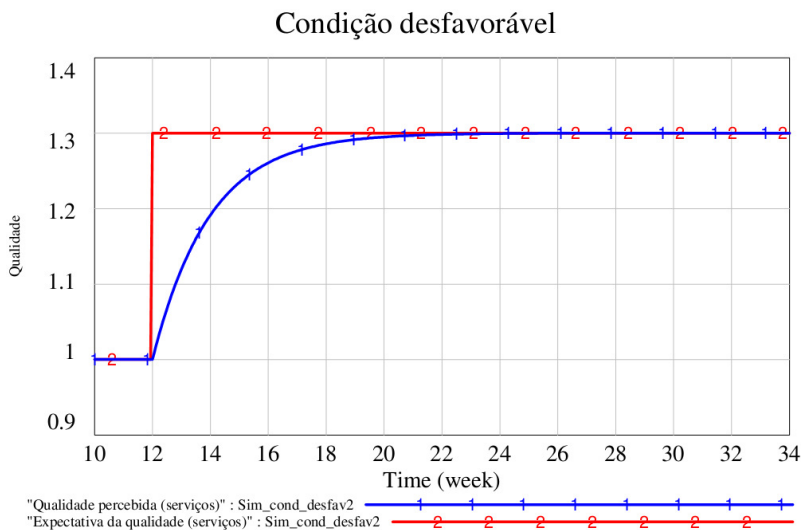
6.3.3 Condição desfavorável (serviço)

Visto o comportamento do sistema para a condição abordada anteriormente a simulação agora é conduzida com a indução do acréscimo na expectativa de qualidade aplicada à expectativa referente aos aspectos do serviço. A expectativa quanto ao bem tangível é configurada novamente para a condição favorável enquanto o acréscimo de 30% na expectativa é aplicado ao serviço também no instante 12 (semanas).

Salienta-se, no entanto, que o aprimoramento dos procedimentos que orientam a realização das atividades e o desenvolvimento de competências dos profissionais pode ocorrer mesmo ao longo da prestação. Contudo, a defasagem de tempo considerada frente ao incremento da expectativa do consumidor pode ser atribuída à

adequação dos aspectos tangíveis dos serviços, assim como questões referentes à infraestrutura e aos recursos demandados, ou quaisquer outros que requeiram tal adequação. Mesmo questões de prazos de conclusão das atividades podem impedir a adesão do consumidor e também demandar um determinado tempo para que sejam estabelecidas novas condições de prestação dos serviços de maneira mais eficiente e tão eficaz quanto. Para tal consideração a Figura 60 expõe a evolução da correção dessas questões salientadas (em relação à percepção da qualidade sob a avaliação do consumidor) resultante da atuação do ciclo “controle de qualidade do serviço”.

Figura 60 – Condição desfavorável (serviço): “expectativa e percepção da qualidade”



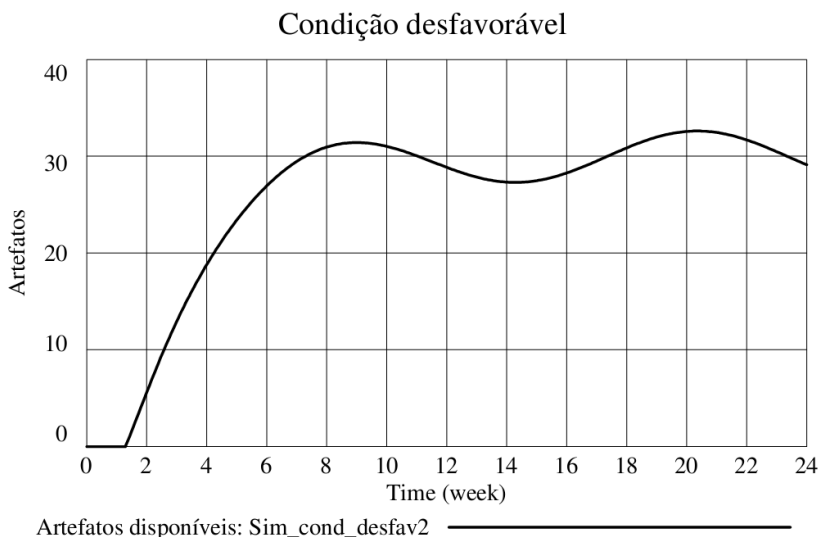
Fonte: o autor.

Da mesma maneira que para os bens tangíveis, em função da estrutura idêntica do ciclo de controle da qualidade dos serviços, a diferença entre a expectativa e a percepção leva à atuação do ciclo de controle. No entanto, o tempo de correção para o subsistema de prestação é configurado em um valor menor em comparação ao subsistema de produção. Essa configuração considera o tempo para a correção da qualidade percebida referente aos aspectos de qualidade relacionados ao serviço menor em relação à correção da qualidade do bem tangível. Frente à flexibilidade de soluções possíveis ao PSS

supõe-se que estas constantes temporais podem apresentar uma considerável variação. Mas, novamente salienta-se que a análise é dada em termos de comportamento.

Como a satisfação da qualidade referente aos aspectos do serviço atua na restrição da “taxa de adesão” a demanda por artefatos, neste modelo, não é alterada. Como é mostrado na Figura 61 o subsistema de produção continua atuando para manter o nível de estoques conforme o planejado e compensando as perdas pelo consumo da mesma maneira que para a condição favorável.

Figura 61 – Condição desfavorável (serviço): “artefatos disponíveis”

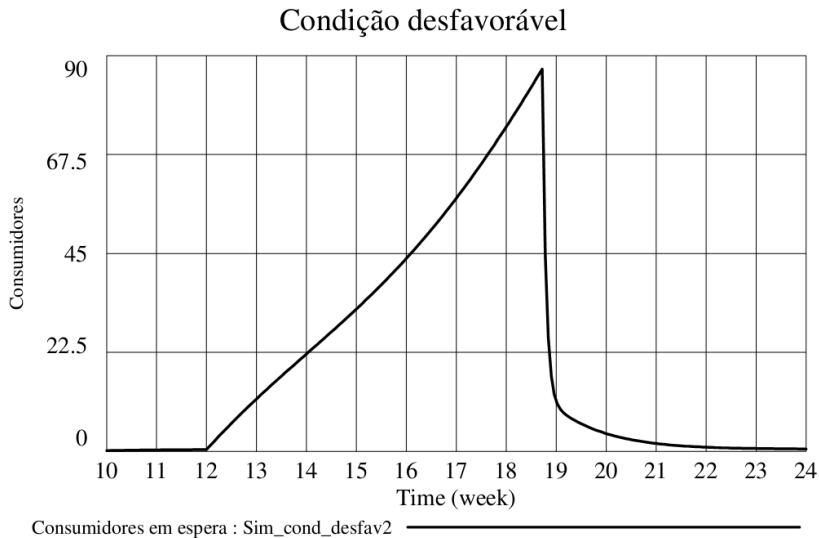


Fonte: o autor.

Contudo, com os consumidores já ingressados no sistema pela obtenção do bem tangível e pela restrição da taxa de adesão ao subsistema de prestação pela condição da percepção da qualidade tem-se a geração de um acúmulo de consumidores aguardando o processamento. O aumento deste acúmulo se dá pela taxa de flutuação da demanda de referência. A Figura 62 evidencia a situação de geração de consumidores em espera. Mas, como também é mostrado nessa figura esse excesso de consumidores em espera é consumido pelo subsistema de prestação assim que o novo patamar de percepção da qualidade é alcançado. O consumo desse estoque de consumidores em espera, conforme a estrutura do sistema e a não consideração restrições para um

nível máximo de taxa de adesão (na qual a infraestrutura e os recursos do sistema exercem influência) é realizado rapidamente com um grande aumento da taxa de adesão.

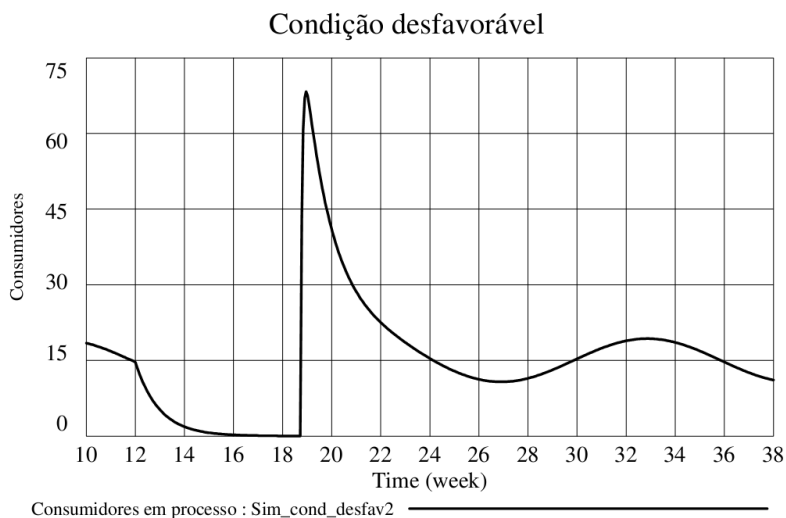
Figura 62 – Condição desfavorável: “consumidores em espera”



Fonte: o autor.

A quantidade de consumidores em processo após a obtenção da qualidade referente aos serviços tem um pico por considerar o processamento dos consumidores em espera. Em casos em que a taxa de processamento é relativamente elevada (em contraste com o subsistema de produção) o sistema consegue novamente acompanhar a demanda por serviços passado um curto horizonte de tempo. Essa situação é evidenciada na Figura 63.

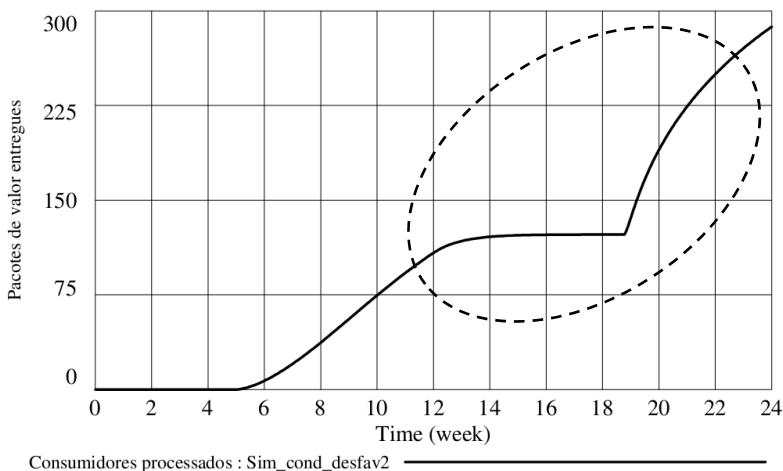
Figura 63 – Condição desfavorável (serviço): “consumidores em processo”



Fonte: o autor.

Assim, havendo a possibilidade de acúmulo de consumidores em espera até a obtenção do estado de satisfação e a possibilidade de processamento desses, o sistema é capaz de retomar o comportamento. Como mostra a Figura 64 o montante de pacotes de valor entregues apresenta uma breve redução do crescimento e em seguida esse crescimento cessa. Obtida a condição de igualdade entre a expectativa e a percepção da qualidade referente aos aspectos dos serviços o crescimento de consumidores processados passa novamente a apresentar crescimento e em uma taxa de processamento superior de maneira a compensar o montante do período em que não houve crescimento. Com o sistema novamente acompanhando a flutuação da demanda de referência o comportamento da quantidade de pacotes de valor entregues se apresenta como na condição favorável, possibilitada pela atuação dos ciclos de controle, entre eles o ciclo responsável pelo controle da qualidade dos aspectos relacionados aos serviços.

Figura 64 – Condição desfavorável (serviço): “consumidores processados”

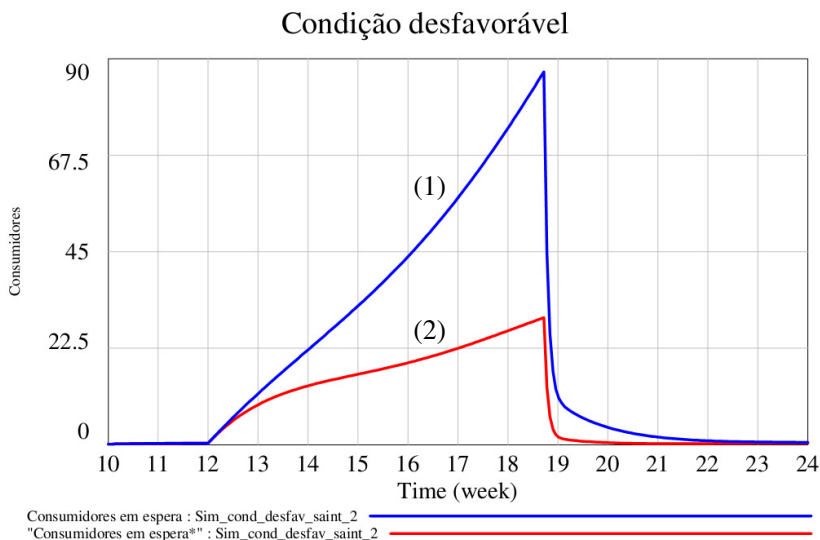


Fonte: o autor.

Dentro dessa condição desfavorável, porém, uma situação crítica ainda pode ser apontada para sistemas caracterizados com uma taxa de saída dos consumidores em espera. Com a ação das “perdas em espera” por consequência o montante de consumidores em espera tenderá a ser menor como mostra a Figura 65 na qual a curva (1) representa a situação sem a ação de perdas e a curva (2) representa a tendência de geração do montante em espera para um sistema caracterizado por um tempo médio de saída de 0,5 (semanas).

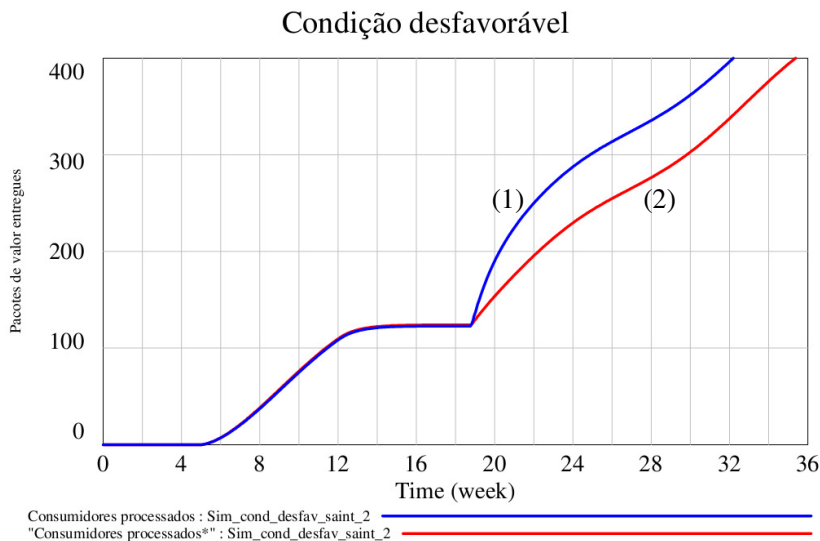
Conforme salientado neste caso os consumidores perdidos em espera não são processados pelo sistema com a retomada da atuação do controle da prestação. A Figura 66 evidencia essa situação com a sobreposição da condição (1) sem perdas e (2) com perdas em espera.

Figura 65 – Condição desfavorável (serviço): ação das “perdas por espera”



Fonte: o autor.

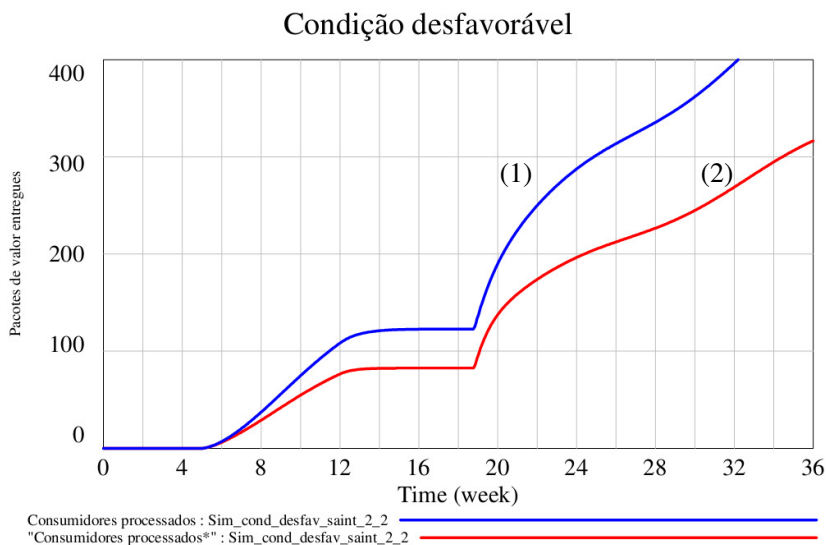
Figura 66 – Condição desfavorável (serviço): “consumidores processados” com e sem perdas



Fonte: o autor.

Outra situação crítica explorada nessa simulação está em sistemas caracterizados por uma taxa de desistência de consumidores. Diferentemente da ação observada para as perdas de consumidores em espera, que ocorrem pelas condições de atuação do subsistema de prestação, as “perdas por desistência” ocorrem ao longo de todo o horizonte de simulação. Como podem ser observadas na Figura 67, havendo desistência, essas ocorrem mesmo antes da ação de indução das condições desfavoráveis ao serviço e permanecem mesmo após o ciclo de realimentação referente à qualidade dos serviços conduzirem a percepção à igualdade com a expectativa de valor. Para a geração deste cenário a curva (1) corresponde ao comportamento do sistema sem a ação de desistência dos consumidores. Já a curva (2) corresponde ao comportamento no qual a variável “tempo médio de desistência” é configurada para o valor de 0,5 (semanas).

Figura 67 – Condição desfavorável (serviço): “consumidores processados” com e sem desistência



Fonte: o autor.

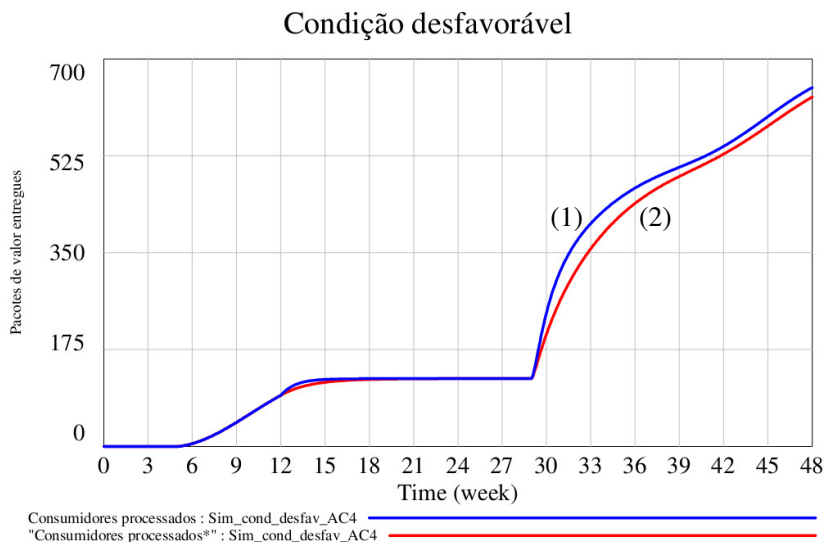
Complementando essa análise outro cenário ainda é proposto. Conforme também salientado no diagrama conceitual além de haver a possibilidade da atuação no produto contribuir com a facilidade de obtenção do valor agregando soluções de projeto voltadas a reduzir o tempo de fabricação; também se considera que em certas ocasiões

(diretamente relacionadas à natureza dos serviços agregados) essa atuação poderia contribuir com a taxa de processamento dos consumidores. Essa consideração, por sua vez, insere a possibilidade de ênfase às atividades fins do módulo de serviço agregado quando ocorrem com a interação com o bem tangível. Isto pode ser viabilizado com a aplicação das diretrizes de desenvolvimento do produto conforme as abordagens específicas DFX correlacionadas ao serviço técnico específico. De modo geral, especificações de projeto desenvolvidas em conjunto entre fabricante e prestador, e como tal, originadas de requisitos específicos para o módulo de serviço, podem contribuir com o desempenho da entrega de valor.

Portanto, este cenário considera um incremento na expectativa referente ao serviço restringindo o ingresso dos consumidores no módulo de serviço. O tempo para correção da qualidade atribuída aos aspectos de serviço foi configurado para cinco semanas dando ênfase a formação de consumidores em espera. Nesse cenário se considera que a correção é advinda da atuação no artefato físico, contudo, não foi considerada uma parada na produção visto que (i) o incremento da expectativa é considerada ao que tange os serviços e (ii) as atividades de desenvolvimento podem ocorrer em paralelo com a atividade produtiva. Então, a obtenção da percepção da qualidade satisfeita é acompanhada de uma redução do tempo de processamento. Essa constante é configurada inicialmente para duas semanas, passando para uma semana com a intervenção no artefato. O tempo de correção dos consumidores em espera foi configurado para 0,6 semanas e o tempo de correção dos consumidores em processo para uma semana. Ressalta-se que para este cenário não foram consideradas perdas por espera. Com a simulação efetuada a Figura 68 expõe o comportamento gráfico apresentado pela saída do sistema, sendo a curva (1) considerando a intervenção no tempo de processamento pela atuação no bem tangível e a curva (2) sem essa atuação.

Percebe-se que o pequeno aumento apresentado no cenário em que a intervenção no produto reduz o tempo de processamento se deve unicamente ao processamento em menor tempo do montante dos consumidores em espera. O subsistema de prestação processa a mesma quantidade de consumidores em um tempo reduzido, entretanto, pelas demais condições de simulação, esse é o único reflexo no sistema que pôde ser evidenciado.

Figura 68 – Condição desfavorável (serviço): Intervenção TP



Fonte: o autor.

Com isso, os dados necessários para a análise interpretativa foram gerados. A seção seguinte, de suma importância, efetiva essa análise para que possam ser propostas as soluções ao problema que motivou a pesquisa.

6.4 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO

Com o modelo do sistema amparado pelo conjunto de testes empregados conferindo robustez e confiança para a simulação de comportamento, e pela própria condução da simulação, certos aspectos do comportamento do sistema são salientados e analisados. Nessa análise são abordadas questões relativas ao contexto descrito e às demais considerações da pesquisa que culminam em tal comportamento. Além disto, também são salientadas contribuições identificadas ao longo da pesquisa, e de bibliografias diversas, úteis a este exame.

O primeiro aspecto destacado se refere à condição de satisfação do valor. Conforme sugere o contexto descrito e os cenários projetados nessa pesquisa a percepção de valor do consumidor pode gerar diferentes reflexos e em diferentes partes do sistema. Com o valor sendo entregue ao longo da realização do ciclo de vida, esse valor pode estar sujeito a sucessivos julgamentos pela percepção do grupo de interesse.

A simulação do comportamento segundo esse estudo ilustra o impacto do não atendimento do fator “qualidade” para o bem tangível e para um módulo de serviço. O modelo proposto considera que a estrutura sistêmica de controle da qualidade é capaz de conduzir o sistema novamente a uma dinâmica favorável em um intervalo constante de tempo, bem como considera que alguns reflexos no sistema são reversíveis. Essa e outras considerações podem não condizer com um sistema real como devidamente ressaltado. Além disto, essa representação do sistema certamente não considera muitos outros fatores que podem atenuar as restrições impostas na simulação como, por exemplo, eventuais renegociações de prazos. Contudo, o impacto evidenciado pela simulação ilustra que a condição desfavorável relacionada à satisfação de valor compromete o desempenho do sistema. Fundamentalmente, para este aspecto do comportamento, essa pesquisa sugere que muitas condicionantes referentes à satisfação do valor podem estar, mesmo que de diferentes maneiras, envolvidas para a realização do ciclo de vida no PSS. Nesse sentido, frente a essa condicionante do desempenho dinâmico se destaca a importância do “fortalecimento da integração de ações voltadas à satisfação do consumidor”.

Conforme a condução da simulação, o comportamento esperado para o sistema resulta da condição favorável, ou seja, da condição de atendimento dos requisitos e da qualidade desses requisitos. Para tal essa pesquisa evidenciou da literatura especializada abordagens a ferramentas voltadas para a mensuração da satisfação do consumidor no contexto do PSS como mostram os artigos de Kimita, Shimomura e Arai (2009) e Yoon, Kim e Rhee (2012) que integram o portfólio. Essas ferramentas voltadas ao PSS se enquadram nas fases iniciais da metodologia de desenvolvimento apresentada como exemplo na fundamentação geral (a metodologia MePSS). Sua aplicação na atividade de desenvolvimento pode orientar uma abordagem adequada ao produto e viabilizar a obtenção dos requisitos necessários à satisfação do consumidor na dinâmica do ciclo de vida. Essa análise também ressalta, em convergência ao exposto na descrição do contexto, que dentre as funções básicas apontadas aos serviços técnicos por Aurich, Fuchs e Wagenknecht (2006) está a função de coleta de informações de uso do artefato físico (como experiências e sugestões) junto ao consumidor que pode ser realizada pela equipe de campo de serviços. Essas informações direcionadas ao objetivo de atendimento dos requisitos exigidos ao produto em termos de assegurar o nível de benefícios esperados em vista das ofertas complementares (também uma função básica atribuída aos serviços técnicos) complementam o emprego

das ferramentas mencionadas a princípio. Essas funções são direcionadas à elucidação e atuação nos requisitos e seus respectivos níveis de qualidade ao longo da realização do sistema. Ainda em complemento a estes dois aspectos mencionados (a consideração dos requisitos e sua qualidade no desenvolvimento e seu acompanhamento por informações específicas na etapa de implantação do sistema), nessa pesquisa também se identificou uma linha de trabalhos voltados ao aspecto dinâmico de aporte ao ciclo de vida e, portanto em convergência com esta abordagem³⁶. Destes estudos se salienta a utilização de bases de dados com arquitetura voltada em específico ao ciclo de vida do PSS. Essas bases objetivam principalmente a gestão dinâmica dos requisitos referentes ao produto, contribuindo para a correta atuação nesse, tanto em termos de conteúdo a ser implementado quanto na questão do momento de implantação.

Entretanto, a percepção do valor é apenas uma das condicionantes no contexto descrito para o sistema. Além de atribuir a qualidade exigida ao bem tangível (e aos aspectos do serviço), este bem também precisa estar disponível para a utilização no contexto do sistema. O acesso ao artefato físico em uma linguagem conveniente para a dinâmica abordada é colocado pela condição de “facilidade de obtenção do valor”. Na construção do modelo, em função dos subsistemas abordados, não foram agregados fatores exógenos de influência na facilidade de obtenção de valor. Dessa maneira, nesse contexto a única restrição considerada para tal condicionante consiste na disponibilidade do valor provida pelo subsistema de produção, ou seja, a facilidade de obtenção do valor no contexto descrito resulta unicamente das ações de controle e restrições operacionais dos processos produtivos. Mas, frente ao conhecimento construído ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa, essa análise salienta que outros fatores são passíveis de consideração no que se refere à condição de obtenção do valor. A disponibilidade e capacidade dos sistemas de transporte, bem como a localização dos pontos de distribuição, podem estar envolvidas para tal obtenção. Nesse sentido, como mostrado por Lelah, Mathieux e Brissaud (2011), a logística exigida para a obtenção do valor em determinados sistemas pode ainda requerer uma infraestrutura específica. Isto também se acentua quando no sistema estão envolvidas diferentes configurações do artefato e seus serviços associados para o atendimento de diferentes

³⁶ Conforme o trabalho de Abramovici, Bellalouna e Göbel (2010) constante do portfólio bibliográfico de referência à pesquisa e também o trabalho de Abramovici et al. (2009).

ciclos de vida no PSS. A modularização e as estratégias de plataforma, como vistos na fundamentação do estudo, propiciam o atendimento a diferentes ciclos de vida. Nesse sentido, como argumentam Evans, Partidário e Lambert (2007), o fabricante integra um arranjo específico no PSS com demandas específicas à produção. Tendo em vista um desempenho favorável referente à condição de obtenção do valor na dinâmica do sistema descrito essa análise sugere também que a importância do “fortalecimento da integração de ações direcionadas à facilidade de obtenção do valor” não pode ser descartada.

As ações salientadas para tal, no âmbito do desenvolvimento do produto, ressaltam a importância da exploração das necessidades e oportunidades referentes à facilidade de obtenção do valor no sistema, além de ações voltadas à sua viabilização no que se refere ao produto. A articulação de informações também com a rede responsável pela logística pode identificar tais necessidades oportunidade a serem exploradas e conduzir o projeto a uma abordagem ainda mais holística no âmbito do PSS. Um exemplo de tal abordagem pode ser obtido com Olsson e Larsson (2009) que investigam a adição de valor na perspectiva do PSS com o desenvolvimento integrado do produto focando o conjunto de artefato e embalagem. A integração desses elementos é abordada como um subsistema tendo influência no desempenho do sistema macro³⁷. Nesse sentido, os esforços no desenvolvimento do produto podem prover a eficácia requerida ao transporte e distribuição em determinados arranjos caracterizados para o Sistema Produto-Serviço. Assim os domínios da atividade de desenvolvimento seriam estendidos para além das considerações de funcionalidade e de qualidade dos atributos do produto. Contudo, para outros sistemas (como nos casos fundamentados de produtos e serviços modulares que atribuem uma maior complexidade operacional ao sistema produtivo) essa análise também resguarda a importância das práticas e princípios de desenvolvimento voltados ao próprio sistema produtivo. Essas práticas e princípios são comentados adiante em relação a condicionante do desempenho afetada por estas diretamente.

³⁷ O sistema é trabalhado em diferentes níveis. No primeiro nível como um elemento da qualidade percebida pelo consumidor e potencialmente de redução dos impactos ambientais pela caracterização dos materiais empregados e demais parâmetros de desenvolvimento da embalagem. Em um segundo nível como facilitador da armazenagem nos pontos de distribuição e, em um terceiro nível, como facilitador ou viabilizador o transporte do conjunto.

Antes, porém, também se salienta que tal como para o bem tangível os serviços responsáveis pela agregação do valor podem estar associados a diversos canais de distribuição. A condução dos parâmetros de estados do consumidor para a condição de satisfação, conforme o fundamentado na associação entre os elementos de bem tangível e serviço, também tem influência dos canais de serviços (KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009). O termo “facilidade de consumo do valor” insere essa condição para o contexto dinâmico e pode ter influência dos canais mencionados e ainda outros, dependendo da configuração específica do sistema. A extensão da rede de agregação de valor por meio dos serviços planejada na configuração do ciclo de vida e os tipos de serviços envolvidos no sistema podem ser determinantes para a quantidade e características desses canais. Esses podem corresponder a canais físicos necessários para a prestação dos serviços, mas também como salientam Lovelock, Wirtz e Hemzo (2011) o tipo de conteúdo do serviço (como desempenho, experiências e informações diversas) pode requer também canais eletrônicos de distribuição. Esses seriam fatores exógenos ao contexto descrito que, pela condução da modelagem, não foram inseridos por não pertencerem diretamente aos subsistemas abordados. Assim, essa condicionante é influenciada unicamente pela restrição operacional relativa ao tempo necessário ao processamento dos consumidores (o tempo de processamento). Essa restrição será abordada logo em seguida no referente aos fatores operacionais. Mas, sobretudo essa análise salienta para o contexto descrito que também não pode ser negligenciada a importância do “fortalecimento da integração de ações voltadas à facilidade de consumo do valor”.

Nessa linha de argumentação e pelo aporte do fundamentado a facilidade de consumo do valor pode ser atingida por parâmetros funcionais relativos aos canais de distribuição dos serviços. A facilidade de consumo do valor, se esta facilidade constituir um fator decisivo para a permanência no sistema (e não gerando uma situação desfavorável de desistência de consumidores evidenciada pela simulação) pode influenciar fortemente o desempenho do sistema. Assim, a consideração de parâmetros funcionais originados das necessidades ou oportunidades relacionadas aos canais de distribuição dos serviços pode ser convertida em requisitos funcionais relacionados ao produto. Esses, por suas vezes, conduzem para soluções de projeto do produto voltadas às funções dos canais de serviços. Como aporte para tal na atividade de desenvolvimento do produto, a exemplo da abordagem à condicionante anterior, também se ressalta a importância da exploração das necessidades e oportunidades referentes a estes canais de serviço. Além

disto, ações voltadas à sua viabilização no que se refere ao produto agregando uma abordagem mais holística no sistema podem ser significativas para o desempenho do sistema.

Por fim, essa análise aborda a condição de desempenho dinâmico referente aos fatores operacionais e de controle. Esses são abordados em conjunto pela (i) dependência que existente entre esses fatores (já que determinados processos de controle podem impor restrições operacionais e, em contra partida, algumas restrições podem exigir determinados processos ou métodos de controle) e por (ii) ambos serem atribuídos às influências internas ao sistema. Pelo uso das ferramentas da Dinâmica de Sistemas a consideração dos fatores operacionais recai nas restrições responsáveis pela defasagem de tempo para a adequação da qualidade do produto e do serviço e para a ocorrência da demanda por serviços. Além destas ainda são englobadas as restrições, também em termos temporais, dos sistemas de produção e prestação para correção do trabalho em processo, correção do estoque de artefatos disponíveis, correção dos consumidores em espera e dos consumidores em processo e, principalmente o tempo de ciclo e o tempo de processamento. A descrição do contexto (diagrama de causalidade) justifica as defasagens de tempo consideradas. Em complemento, a própria exposição do comportamento observado (nesta simulação) ressalta outras defasagens que foram desconsideradas em confronto com as características do fluxo principal do sistema, suprimindo também aspectos de controle na estrutura do modelo. Essa estrutura descreve os próprios processos de controle em termos dinâmicos adotados para viabilizar a simulação. Nesse sentido, a modelagem da estrutura de decisão para o subsistema de produção teve seu aporte na literatura, com o exposto por Sterman (2000), bem como o estabelecimento das relações dinâmicas associadas à percepção do consumidor como referência para a modelagem do subsistema de consumo. Contudo, para o estabelecimento da estrutura referente ao subsistema de prestação não foram encontradas abordagens correlatas, sendo que, sua construção foi orientada por considerações específicas. Sendo assim, os comportamentos descritos graficamente referentes à atuação dos subsistemas nos cenários projetados e, portanto, as próprias informações de referência para essa análise, derivam das considerações relativas às restrições operacionais e estruturas de controle. Os níveis dos indicadores apresentariam outras amplitudes e defasagens para restrições distintas às utilizadas, bem como, o próprio comportamento gráfico seria diferenciado tendo, o modelo, outra estrutura de decisão ou outra variação da demanda induzida. Não obstante, como salientado

anteriormente nesta seção, outros fatores poderiam ser considerado com a expansão dos limites do sistema, o que também influenciaria no resultado obtido pela simulação.

Portanto, o exposto até então reafirma, com base nos princípios que orientaram a pesquisa, a dependência do “fortalecimento da integração de ações voltadas à operacionalização e controle” para o desempenho “favorável” do PSS. Destacada essa dependência as ações no âmbito da atividade de desenvolvimento podem focar na exploração das restrições e possibilidades de atuação e seu impacto no sistema pelas estruturas de controle específicas. Para isso (no que se refere à exploração) tais considerações devem ser abordadas logo no processo de desenvolvimento do PSS e tem base no conhecimento dos envolvidos acerca desses aspectos para cada subsistema. Isso engloba as práticas e procedimentos relacionados à aplicação dos serviços, como também engloba as próprias restrições inerentes ao processo de confecção do artefato envolvido no sistema. A complexidade imposta ao sistema produtivo tanto no que se refere a sua operacionalização quanto ao seu controle (visto que diferentes demandas podem orientar as decisões do processo) pode ser maior em casos de produtos modulares. Já a atuação em tais restrições pode ser orientada pelas regras e princípios referentes às abordagens DFX. Essas abordagens dispostas na literatura especializada podem enfatizar certas etapas do ciclo de vida conferindo um melhor desempenho. Em virtude destas considerações, na simulação ainda foi testado o impacto da atuação nas restrições determinantes das defasagens referentes ao “tempo de ciclo” de fabricação dos artefatos e ao “tempo de processamento” dos consumidores por meio da atuação no produto. Com foco no sistema produtivo (atuando no tempo de ciclo) são aplicáveis as regras e princípios específicos referentes ao DFM, DFA, DFT (*Design for Test*)³⁸ e possíveis outras orientações do DFX. Também, nessa perspectiva essa pesquisa considera que a atuação no artefato por princípios como os referentes ao DFS e/ou DFO (*Design for Operation*), e mesmo possíveis abordagens distintas, também podem ser aplicáveis ao PSS e influenciar em seu desempenho. Considera-se, portanto, que essas abordagens podem inferir nas variáveis de processo reduzindo as restrições operacionais referentes ao processamento de matérias primas para originar os bens e o processamento de consumidores buscando o estado de satisfação. Contudo, não foram testados os impactos dessas abordagens separadamente, ou mesmo

³⁸ Fundamentos e exemplos dessas abordagens podem ser obtidos na literatura especializada como, por exemplo, com Khan (2008).

considerados todas as abordagens relacionadas ao DFX, visto que não constitui o objetivo da investigação. Nos cenários projetados os reflexos apresentados no sistema da atuação tanto no tempo de ciclo quanto no tempo de processamento estão correlacionados à demanda induzida e às estruturas de controle que formam o modelo. Ou seja, o que pôde ser observada na simulação consiste na redução do fluxo nos subsistemas (de material em processo para o subsistema de produção e de consumidores para a prestação) para o atendimento das mesmas solicitações. Não se pode descartar, porém, que para outras condições, como outro padrão da demanda, tal atuação no produto conduza a diferentes impactos no desempenho. Caso, por exemplo, a expectativa do consumidor esteja relacionada ao tempo de processamento a ação no produto para este fim pode inclusive ser determinante para a aceitação e ingresso no sistema.

Em complemento ainda se ressalta que da mesma maneira que o observado para as demais condicionantes a exploração das restrições pode e deve ser conduzida ao longo da realização do sistema (como sugere os próprios princípios da Dinâmica de Sistemas). Tal como mencionado anteriormente sobre as funções básicas dos serviços técnicos, no que tange esta condicionante se reafirma a utilidade da função de coleta de informações também para a operacionalização e controle. Essas informações direcionadas a questões de utilidade e condições de funcionalidade do artefato podem elucidar restrições ou identificar oportunidades de aplicação das abordagens DFX no processo de desenvolvimento para que a atuação no produto aperfeiçoe o seu desempenho ou complemente a sua função (expandindo ou aperfeiçoando, assim, o conjunto de benefícios oferecidos). Dentro das funções básicas dos serviços técnicos isso condiz ao “suporte funcional” sendo possível pela característica de realização dos serviços técnicos junto ao consumidor e ao bem tangível.

Essas são as considerações e observações que constituem a análise dos dados obtidos pela pesquisa evidenciados nos cenários projetados pelo processo de simulação aplicado ao modelo. Grande parte do exposto não é inédito na literatura, porém abordado para outros fins e sobre outras perspectivas e estrutura. Essa análise explícita muitas convergências aos estudos que integraram o portfólio construído e que estabelecem os fundamentos desse estudo. Mas, principalmente essa pesquisa organiza e trata as informações de maneira específica como foco nos objetivos propostos e, portanto, expõe uma perspectiva e uma análise singular. Outros pontos de vista poderiam prover uma diferente condução dessa análise, porém esta linha de argumentos é definida em

convergência ao abordado nesta dissertação. Mas, o salientado nessa análise considera principalmente meios que potencialmente contribuiriam com a redução de fatores relacionados à geração de esperas (que, por sua vez, pode culminar na saída de consumidores) e a possível desistência de consumidores em processo; ambas as situações críticas apontadas no processo de simulação. Dessa maneira o teor desta análise é tomado como base para a proposição dos resultados frente ao objetivo geral abordado na pesquisa.

6.5 DIRETRIZES E RECOMENDAÇÕES

As diretrizes são redigidas de maneira a dar ênfase às respectivas condicionantes. As condicionantes nesse estudo foram identificadas ainda na fundamentação teórica. Com a descrição conceitual essas mesmas condicionantes foram exploradas em um contexto de criação, entrega e consumo do valor. Com isso essas condicionantes foram novamente referenciadas na seção relativa às considerações do modelo (Seção 4.5). Por fim, a submissão dessas condicionantes à avaliação pelo processo de simulação computacional viabilizou a análise conduzida na seção anterior.

Com isso são estabelecidas quatro diretrizes principais orientadas pelas condicionantes (visto que as condicionantes relativas ao valor referente ao bem tangível e ao serviço são tratadas pela mesma diretriz). Juntamente a estas diretrizes são expostas estratégias na forma de recomendações para a aplicação das diretrizes na atividade de desenvolvimento do produto. Essas estratégias tem base na análise realizada acerca do comportamento apresentado pela simulação. Também observam o fundamentado acerca dos processos de desenvolvimento do PSS integrantes de metodologias existentes, bem como outras informações métodos, ferramentas, entre outros tópicos abordados ao longo da pesquisa que possam contribuir como recomendações. Com o apoio dessas recomendações as diretrizes podem ser desdobradas em guias de práticas para os esforços de desenvolvimento do produto ou mesmo originar requisitos com base no desempenho dinâmico do sistema para o controle, melhoria ou estabelecimento de características de tal produto. Portanto, essas diretrizes e estratégias consistem em:

I. Fortalecer a integração de ações voltadas à satisfação do consumidor. Com foco na atividade de desenvolvimento do produto essa diretriz é orientada para a satisfação da qualidade percebida pelo consumidor acerca do conjunto de benefícios

referentes ao produto frente a suas expectativas iniciais construídos com base em seus valores e preferências pessoais pela comparação com as ofertas similares ou concorrentes no mercado.

Estratégias propostas:

- Fortalecer a exploração dos atributos e características que pela percepção do grupo de interesse estabelecem o conjunto de benefícios referentes ao produto frente a seus objetivos e necessidade (e também na relação entre a qualidade requerida e os custos totais exigidos) ao longo de todo o ciclo de vida do PSS.
- Promover ou explorar canais de comunicação buscando monitorar a evolução no tempo da percepção do consumidor acerca da qualidade dos atributos e características do produto.
- Promover o monitoramento da evolução e tendências do mercado identificando o surgimento de novos requisitos para o produto em virtude de produtos ou sistemas concorrentes ou substitutos considerando a extensão e o horizonte de tempo para a realização do ciclo de vida planejado ao PSS.
- Reforçar a gestão do conhecimento (com foco na gestão de requisitos) empregando ou integrando bases de dados e promovendo a construção do conhecimento da evolução dos aspectos ressaltados ao mercado e à percepção do consumidor referente ao produto.
- Desenvolver ou empregar instrumentos e ferramentas voltadas para a avaliação do impacto na percepção do grupo de interesse dos aspectos do produto considerando o contexto específico do sistema nos estágios iniciais do desenvolvimento do PSS.

II. Fortalecer a integração de ações direcionadas à facilidade de obtenção do valor. Essa diretriz orienta as ações da atividade de desenvolvimento no sentido de abordar a capacidade e disponibilidade dos meios logísticos envolvidos na distribuição do bem tangível no sistema e, com isso, contribuir com a facilidade para a obtenção do valor.

Estratégias propostas:

- Articular informações com os responsáveis pela operacionalização da logística de disponibilização do valor no sistema identificando os fatores de desempenho passíveis de atuação pelo produto.

- Promover a análise dos canais e meios logísticos envolvidos para a disponibilização do valor referente ao produto no sistema objetivando a criação de valor ainda nesta etapa.
- Agregar os aspectos referentes à disponibilização do valor no sistema em arquitetura da base de dados amplas, considerando além dos fatores referentes à percepção do valor também as condições logísticas para a realização do PSS.

III. **Fortalecer a integração de ações direcionadas à facilidade de consumo do valor.** Essa diretriz é orientada para as ações que abordam os canais de distribuição dos serviços e sua relação com o bem tangível buscando facilitar o consumo do valor.

Estratégias propostas:

- Articular informações com os envolvidos na extensão do ciclo de vida devido à agregação de valor por meio dos serviços identificando e correlacionando os parâmetros funcionais dos canais de distribuição dos serviços passíveis de atuação pelo produto.
- Empregar ou desenvolver métodos ou ferramentas que, para o contexto do PSS, possibilitem a conversão dos parâmetros funcionais em requisitos aplicáveis ao processo de desenvolvimento de maneira a mensurar o impacto da atuação no produto na percepção do consumidor e conduzir as soluções de características e propriedades do produto para a viabilização ou facilitação das funcionalidades dos canais de serviços.
- Promover o monitoramento da evolução da satisfação do consumidor relativa aos canais de distribuição dos serviços identificando o surgimento de novos requisitos em toda a extensão da rede de criação de valor do sistema.
- Promover a integração dos aspectos referentes aos canais de serviços em bases de dados que possibilitem a gestão dos requisitos relacionados a tais canais.

IV. **Fortalecer a integração de ações direcionadas ao controle e operacionalização da produção e agregação de valor.** Essas ações focam as variáveis de processo para viabilizar ou melhorar o desempenho da operacionalização e controle do sistema.

Estratégias propostas:

- Articular informações com os envolvidos na extensão do ciclo de vida devido à agregação de valor por meio dos serviços identificando e correlacionando os requisitos funcionais

(considerando as práticas e processos de controle) passíveis de atuação pelo produto.

- Implementar ou explorar meios para a coleta de informações referentes ao uso do produto junto a rede de prestação (equipe de serviço) integrando a experiência adquirida com a atuação no produto.
- Promover o monitoramento da evolução da satisfação do consumidor referente à utilidade e funcionalidade do produto, em toda a extensão da agregação de valor, identificando oportunidades de melhoria nos parâmetros afins ou o surgimento de novos requisitos de uso.
- Fortalecer os canais de comunicação com a produção para identificar as restrições operacionais (devidas às práticas e processos de controle, ou mesmo outras fontes) e oportunidades de atuação por meio do desenvolvimento do produto para favorecimento das etapas produtivas, e consequentemente, da disponibilização do valor pela produção.
- Empregar ou desenvolver métodos ou ferramentas, para o contexto do PSS, que possibilitem o tratamento dos requisitos funcionais relacionados ao produto no processo de desenvolvimento conduzindo as soluções de características e propriedades do produto de maneira a intervir (com impacto determinado) nas variáveis de processo referentes tanto a produção quanto a prestação.
- Promover a integração e inter-relação dos aspectos referentes às características e propriedades do produto em bases de dados que possibilitem a gestão dos requisitos relacionados.

Pode ser percebido que, de maneira geral, as estratégias recomendadas também seguem o paradigma de informação/ação/consequência da Dinâmica de Sistemas, buscando identificar, implantar e acompanhar. Essas estratégias são amplas e abordam tal paradigma para a aplicação de cada diretriz no que se refere ao desenvolvimento do produto para o contexto do PSS. Certamente outras estratégias ainda poderiam ser recomendadas. Portanto, o objetivo destas recomendações não consiste em explorar a fundo as práticas necessárias para a aplicação das diretrizes, principalmente em função da gama de possibilidades de configuração que o PSS pode apresentar para a entrega de um determinado valor. Mas sim, essas recomendações gerais ilustram como as diretrizes propostas podem originar práticas de desenvolvimento do produto ligadas ao contexto do PSS.

Com a proposição de tais diretrizes se tem um retorno ao objetivo geral desta pesquisa. Mas também, e não menos importante, o processo que culminou na proposição de tais diretrizes disponibiliza uma referência qualitativa e quantitativa como contribuição para o entendimento do PSS pelos gestores e pesquisadores. O modelo construído como laboratório de aprendizagem pode ter suas fronteiras expandidas agregando outros fatores e, assim, considerando aspectos adicionais do sistema. As considerações finais expostas no capítulo seguinte sintetizam as principais informações e resultados. Também é estabelecida uma visão geral e crítica sobre essa pesquisa conduzida na seção referente às conclusões gerais.

7 CONCLUSÕES

Esse capítulo expõe as interpretações que encerram a pesquisa. Objetivando a melhor compreensão primeiramente são resgatados os principais motivadores que orientaram a investigação. São também expostos o objetivo geral e os objetivos específicos. Em seguida são sintetizados e concatenados os resultados referentes a cada objetivo específico. Posteriormente são expostas as conclusões e a pesquisa é encerrada salientando suas limitações e destacando as oportunidades identificadas para pesquisas futuras.

7.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÕES DA PESQUISA

A indústria de transformação nacional enfrenta desafios econômicos como reflexos tanto de um contexto interno quanto globalizado com impacto em sua representatividade no Produto Interno Bruto. Ainda, demandas sustentáveis vindas da sociedade civil ou impostas por legislações específicas exigem uma nova postura desses fabricantes. Para prover tanto a competitividade almejada pelos fabricantes quanto os benefícios sustentáveis demandados se faz necessária uma inovação em nível de sistema. Nesse sentido o Sistema Produto-Serviço é um dos meios para viabilizar a inovação em nível de sistema.

Contudo, o ingresso em um empreendimento PSS a responsabilidade do fabricante vai além da venda do produto e abrange um ciclo de vida estendido. Isto ainda se acentua pelo PSS se caracterizar como um sistema dinâmico no qual atuam estruturas de realimentação de informações, defasagens e não linearidades. Isso faz com que a influências dinâmicas da agregação de serviços ao bem tangível sejam de difícil compreensão. Assim condicionantes de desempenho específicas dessa agregação podem não ser contempladas pelo processo de desenvolvimento, ou mesmo, sua contemplação sem a avaliação do comportamento dinâmico pode desencadear eventos desfavoráveis para tal comportamento ao longo do tempo.

Portanto, essa pesquisa tem como objetivo geral “estabelecer diretrizes para a orientação dos esforços de desenvolvimento do produto pela avaliação do comportamento dinâmico da agregação de um módulo de serviço ao bem tangível para o contexto do PSS”. Para tal foram estabelecidos objetivos específicos intermediários iniciando por (i) identificar os principais subsistemas atuantes na agregação do módulo de serviços ao bem tangível e as principais interações destes na

dinâmica do sistema. Esse primeiro objetivo estabelece as referências para (ii) descrever a estrutura do sistema conceitualmente determinando os principais fatores de influência na dinâmica e os ciclos de realimentação atuantes. Assim, encerra-se por (iii) propor um modelo que permita a simulação computacional para análise quantitativa do comportamento dinâmico do sistema. Como instrumento de intervenção para desenvolvimento da pesquisa foi adotado a Dinâmica de Sistemas.

7.2 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos nesta pesquisa tem como referência a fundamentação teórica específica elaborada a partir de um portfólio bibliográfico de 17 artigos. A construção desse portfólio foi realizada pela revisão da literatura apoiada por um processo sistemático para a seleção dos artigos e orientada por quatro eixos de pesquisa. Esses eixos foram definidos de maneira a (i) identificar os *stakeholders* envolvidos no ciclo de vida envolvendo a agregação de serviços ao bem tangível e (ii) explorar qual a organização que possibilita tal agregação. Ainda investigou-se (iii) como os elementos de bem tangível e serviço se associam para a satisfação do consumidor e (iv) como ocorre a dinâmica no sistema. A fundamentação teórica específica foi conduzida com foco no fabricante como *stakeholder* principal e elaborada adotando o conceito de valor para a realização da análise por englobar de maneira genérica os aspectos de satisfação referentes ao produto.

Sendo o instrumento de intervenção utilizado na pesquisa a metodologia “Dinâmica de Sistemas” as ferramentas de “diagrama de causalidade” e “diagrama de fluxos e estoques” foram empregadas para o atendimento dos objetivos específicos. O conteúdo desenvolvido é qualitativo na identificação dos subsistemas e fatores de influência no sistema e sua associação na forma de relações causais e ainda na definição dos indicadores na linguagem de fluxos e estoques. A complementação quantitativa se dá com a implementação matemática da interação entre os fatores neste diagrama. A seguir são sintetizados os resultados obtidos referentes a cada objetivo específico.

(i) Identificação dos principais subsistemas atuantes na agregação do módulo de serviços ao bem tangível e as principais interações destes na dinâmica do sistema:

Sob a perspectiva do fabricante em relação ao ciclo de vida a agregação dos serviços implica na extensão deste ciclo por uma rede de extensão de criação de valor. Com isso a atuação dos prestadores de serviço complementa o pacote de valor a ser entregue com a parte

intangível deste valor. A aceitação do valor entregue está condicionada a condução do consumidor do serviço a um estado de satisfação. Portanto, neste estudo a integração de serviços ao bem tangível é abordada englobando três subsistemas: produção, prestação e consumo.

O subsistema de produção engloba energia, instalações, máquinas, equipamentos, a infraestrutura demandada, os materiais e todos os insumos consumidos pelo sistema, as tecnologias exigidas, as competências necessárias, bem como processos e políticas de controle. Esse subsistema é responsável pela confecção dos artefatos físicos (como a parte tangível da entrega de valor) e sua disponibilização para a utilização no PSS.

O sistema de prestação se refere aos elementos que viabilizam e realizam a entrega regulamentar do valor proposto pelo PSS na extensão do ciclo de vida. No ponto de vista estabelecido da estrutura do PSS o subsistema de prestação complementa o subsistema de produção pela adição da parte intangível do valor decorrente das atividades, ações e desempenho.

O subsistema de consumo concentra as condições de aceitação dos serviços e, como tal, do valor entregue pelo PSS. Engloba os aspectos relacionados à percepção do consumidor quanto ao valor e determina seu estado de satisfação. Nessa percepção atuam então o serviço com suas características específicas e o bem tangível.

A identificação das principais interações entre os subsistemas faz referência para a construção da estrutura do sistema. Essas foram identificadas como: a “demanda por bens tangíveis” estabelecida pelo subsistema de consumo ao subsistema de produção, sendo que, a produção atua para conferir a “disponibilidade de valor” para atendimento desta demanda. A interação entre a produção e a prestação consiste na geração por uma “demanda por serviços” futuros para o complemento do valor oferecido pelo sistema. O subsistema de prestação, então, atua no sistema com a “adição de valor”. A interação deste com o subsistema de consumo são estabelecidos pela “entrega de valor”, atribuição do subsistema de prestação, condicionada a “percepção do valor”, atribuída ao consumo. Da mesma maneira o subsistema de produção atua na disponibilização do “valor referente ao bem tangível” também sujeito a “percepção” do consumidor. Já a influência externa se dá pelos fatores de afetam a “expectativa de valor” do consumidor. Por fim, as influências internas ao sistema consideradas consistem nas configurações “operacionais e de controle” e nas restrições para a

“intervenção na qualidade do bem tangível” e para a “intervenção na qualidade do serviço”.

Portanto, a partir de um portfólio de artigo e de acordo com a perspectiva sistêmica foram estabelecidas as primeiras informações de referência para a construção do modelo. As fronteiras do sistema são definidas com a identificação dos principais *stakeholders* e as principais interações destacadas constituem a orientação para o processo de construção da estrutura do modelo.

- (ii) Descrição conceitual do sistema determinando os principais fatores de influência na dinâmica e os ciclos de realimentação atuantes:

Conforme a perspectiva adotada a dinâmica do sistema pode ser descrita pela atuação mútua dos subsistemas de produção e prestação para uma dinâmica de criação e entrega de valor. Para tal, o fabricante atua para o controle do fornecimento de valor ao sistema, enquanto que o prestador atua para o controle da agregação de valor pelo processamento de consumidores. A dinâmica de ambos os subsistemas está sujeita à percepção do consumidor em relação à qualidade, que tanto referente ao bem tangível quanto aos serviços, corresponde ao julgamento do consumidor quanto à sua excelência dos aspectos e atributos do bem tangível ou serviço com influência em seus objetivos e necessidades. Portanto, sendo o objetivo do sistema obtido com a entrega do “pacote de valor” (o conjunto de atributos disponibilizados pelo produto, pelo módulo de serviço associado a ele e pela sua interação, responsáveis pelos benefícios entregues ao consumidor) a estrutura sistêmica descrita engloba quatro condicionantes para o comportamento desejável do sistema. Esses são: a condição de satisfação com a qualidade, a facilidade de obtenção do valor, a facilidade de consumo do valor e a as condições operacionais e de controle.

Ainda conforme a descrição conceitual do sistema sua estrutura pode atuar na “facilidade de obtenção do valor” pela atuação sistêmica do ciclo de realimentação “controle da produção”, assim como pode atuar na “facilidade de consumo de valor” pelo ciclo de “controle da prestação”. Bem como os ciclos de realimentação “controle da qualidade do bem tangível” e “controle da qualidade do serviço” atuam para corrigir as discrepâncias de qualidade desses elementos e, então, conduzir o consumidor ao estado de satisfação. Contudo, ciclos de controle que representam falhas ao desempenho do sistema (as “perdas por espera” e as “perdas em processo”) também podem atuar caso os ciclos anteriores não cumpram o seus respectivos objetivos de controle.

Principalmente, o processo de descrição conceitual com a utilização dos diagramas de causalidade ofereceu um processo de expansão do conhecimento. Sob o ponto de vista sistêmico o diagrama de causalidade construído explicita e associa os principais fatores de forma a representar a relação entre esses evidenciando também os ciclos de realimentação que conferem as não linearidades do comportamento do sistema (em um total de seis ciclos abordado nessa pesquisa).

- (iii) Proposição de um modelo que permita a simulação computacional para análise quantitativa do comportamento dinâmicos do sistema.

Na construção do diagrama de fluxos e estoques, empregado pela Dinâmica de Sistemas para viabilizar a simulação computacional, o subsistema de produção tem base na estrutura genérica de controle de estoques. O fluxo do subsistema consiste em “unidades de artefatos” com dois indicadores principais: o “trabalho em processo” e os “artefatos disponíveis”. O subsistema de prestação é construído por analogia ao subsistema de produção. Neste, o fluxo consiste na quantidade de “consumidores” e utiliza três indicadores: “consumidores em espera” e “consumidores em processo” e “consumidores processados”. O subsistema de consumo, por sua vez, expressa o estado da percepção do consumidor em relação à qualidade do bem tangível e do serviço. Assim o subsistema de consumo é representado por duas estruturas englobando, cada uma, o indicador “qualidade percebida” do elemento específico.

Com a construção do diagrama de fluxos e estoques são definidas as estruturas de decisão responsáveis pelo controle da produção e da prestação, suas inter-relações e as relações com o diagrama referente ao consumo. A relação entre a dinâmica de produção e prestação foi generalizada pela “quantidade de horas de prestação de serviços” necessária a um módulo específico de serviço por “unidades de artefatos” utilizados pelo sistema. E, com isso também foram inseridos os parâmetros de mensuração referentes aos indicadores do modelo.

O diagrama de fluxos e estoques proposto com a utilização das ferramentas da Dinâmica de Sistemas permitiu, então, definir a estrutura do sistema inserindo as variáveis com coesão entre suas unidades de mensuração. Ainda, a formação dessa mesma estrutura permitiu integrar matematicamente as constantes e variáveis do modelo.

7.3 CONCLUSÕES GERAIS

As diretrizes apresentadas foram construídas sob um ponto de vista definido e fundamentado e apresentam uma nova perspectiva para as considerações do desenvolvimento do produto integrante do PSS. Essas sugerem que o desenvolvimento não deve focar somente no valor a ser entregue. A coesão do valor entregue à expectativa do consumidor é importante, contudo, produz um reflexo em um aspecto específico do sistema; a satisfação do consumidor. Ou seja, na perspectiva exposta este aspecto é importante, contudo insuficiente. Além da condição de valor foi salientado para a atividade de desenvolvimento o enfoque à facilidade de obtenção e consumo de valor, além das questões operacionais e de controle. Um desenvolvimento englobando tais diretrizes expande a amplitude da atividade de desenvolvimento conduzindo a uma visão mais holística.

Propriamente na visão holística pela qual a pesquisa foi desenvolvida proporcionou o entendimento amplo do fenômeno. A abordagem sistêmica conduz, de fato, a uma interpretação integrada dos diferentes aspectos que compõem o fenômeno. Essa visão, por sua vez, provê uma compreensão embasada por diferentes paradigmas oferecendo uma alternativa, não somente de abordagem a problemas pontuais, mas principalmente, uma perspectiva de visão de mundo e aprendizado constante. A consciência da dependência de modelos mentais para a interpretação das diferentes questões que os gestores e os diferentes profissionais se deparam abre margem para que esses mesmos modelos sejam questionados e aprimorados. Dessa maneira os processos decisórios podem ser conduzidos a uma estruturação condizente, as ações justificadas por reflexos futuros e as próprias organizações empresariais podem se reestruturar para uma adaptação mais rápida e harmoniosa ao seu meio.

Assim, tendo base nos resultados obtidos, como principal conclusão deste trabalho de pesquisa se tem a afirmação da empresa como um sistema complexo. A atuação associada com diferentes organismos empresariais enfatiza que o fortalecimento de ações conjuntas para a obtenção dos objetivos comuns é necessário, sobretudo em sistemas sócio técnicos como tais. Políticas amplas que alinhem os objetivos dos elementos (humanos) que compõem o organismo empresarial aos objetivos da empresa podem ser extremamente benéficas para produzir resultados desejados em longos horizontes de tempo.

Essa pesquisa estabelece um ponto de vista a ser considerado no desenvolvimento do PSS. Não único e nem se quer abrangente o suficiente para fornecer constatações irrefutáveis. Mas sim, um ponto de vista que pode contribuir com os modelos mentais de profissionais da indústria e da academia na abordagem ao Sistema Produto Serviço com o objetivo de obter os benefícios atribuídos a esse sistema em um contexto amplo.

7.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Como fatores limitadores dessa pesquisa estão a condição de complexidade, singularidade ao pesquisador e suas delimitações e a influência advinda do ambiente em que está inserido e que a pesquisa foi desenvolvida. Em específico pode ser apontado (i) o grau de acessibilidade aos meios de divulgação de pesquisas que constituíram a fonte de coleta de dados sendo o espaço amostral definido pela abrangência do portal CAPES. Ainda, (ii) as próprias informações utilizadas para a indução da estruturação, e (iii) a perspectiva sistêmica base das considerações que orientaram o processo de construção do modelo, bem como o emprego das ferramentas específicas da Dinâmica de Sistemas, condicionam a realização da pesquisa e, conseqüentemente, os resultados obtidos.

Essas são apenas algumas limitações apontadas. Deve-se ter claro que o comportamento simulado, por ter base em um modelo, permite apenas uma representação e uma análise parcial da realidade. Assim, a limitação mais significativa dessa pesquisa está justamente na (iv) ausência de uma aplicação prática do modelo. Esse modelo tenta generalizar as diferentes configurações observadas ao sistema pelos casos descritos, contudo as próprias abordagens salientadas ao longo do estudo reforçam a diversidade que esse fenômeno e seu tratamento podem apresentar. Portanto a utilização do exposto por essa pesquisa em situações práticas deve ser acompanhada de uma abordagem específica ao contexto correlacionando e complementando a aplicação dos conhecimentos explicitados neste documento.

7.5 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros se aponta:

- Realizar a calibração e aplicação deste modelo para casos práticos da indústria a fim de verificar e validar a sua utilidade prática

para as empresas interessadas em ingressar em um contexto de atuação condizente ao PSS.

- Expandir os limites do modelo agregando demais fatores de influência na dinâmica do sistema e verificar seu impacto para a criação, a entrega e o consumo do valor no PSS.
- Explorar diferentes estruturas de processos decisórios com análises de impacto dessas estruturas no comportamento do sistema.
- Explorar as relações específicas existentes entre o produto e os serviços agregados para a adição do valor na definição dos parâmetros funcionais referentes tanto ao conteúdo quanto aos canais de serviço, seu desdobramento em requisitos no processo de desenvolvimento e seu impacto nas variáveis de processo para a realização do sistema.
- Elaborar modelos sob o ponto de vista dos envolvidos na rede de extensão do valor e confrontar estes modelos com o proposto nesta pesquisa tornando possível uma análise crítica dos estudos.
- Empregar outros métodos e ferramentas de análise como, por exemplo, a “simulação por eventos discretos” para a comparação aos resultados obtidos com a utilização da DS baseada em tendências temporais, também possibilitando a análise crítica dos resultados.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVICI, M.; BELLALOUNA, F.; GÖBEL, J. C. **Adaptive change management for industrial product-service systems**. *Strojnski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, v. 56, n. 11, p. 696-706, 2010.
- ABRAMOVICI, M.; NEUBACH, M.; SCHULZE, M.; SPURA, C. **Metadata Reference Model for IPS2 Lifecycle Management**. *Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS2) Conference, 2009*. Cranfield University. 1-2 abr. 268 p.
- ALONSO-RASGADO, T. A.; THOMPSON, G.; ELFSTRÖM, B. O. **The design of functional (total care) products**. *Journal of Engineering Design*, v. 15, n. 6, p. 510-540, 2004.
- ALONSO, M. P. **Product service system: benefits and barriers**. 2007. (MSc Thesis.). School of Applied Sciences, Cranfield University, London, UK.
- EUROPEAN RESEARCH AREA. **Fifth framework programme of the European Community for research, technological development and demonstration activities (1998 - 2002)**. Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/fp5/fp5-intro_en.html>. Acesso em: 01 mar, 2012.
- AURICH, J. C.; FUCHS, C.; WAGENKNECHT, C. **Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems**. *Journal of Cleaner Production*, v. 14, n. 17, p. 1480-1494, 2006.
- AURICH, J. C.; SCHWEITZER, E.; FUCHS, C. **Life cycle management of Industrial Product-Service Systems**. In: TAKATA, S. e UMEDA, Y., 14TH CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING, 2007. Waseda University, Tokyo. Springer London, 11-13 jun. p.171-176, 2007.
- AURICH, J. C.; WOLF, N.; SIENER, M.; SCHWEITZER, E. **Configuration of product-service systems**. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 20, n. 5, p. 591-605, 2009.
- BAI, C.; SARKIS, J. **Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies**. *International Journal of Production Economics*, v. 124, n. 1, p. 252-264, 2010.

BAINES, T. S.; BRAGANZA, A.; KINGSTON, J.; LOCKETT, H.; MARTINEZ, V.; MICHELE, P.; TRANFIELD, D.; WALTON, I.; WILSON, H. **State-of-the-art in product service-systems**. Journal of Engineering Manufacture, v. 221, n. 10, p. 1543-1552, 2007.

BASSANEZI, R. C. **Modelagem Matemática**. Dynamis, v. 1, n. 7, p. 55-83, 1994.

BEUREN, F. H.; FERREIRA, M. G. G.; MIGUEL, P. A. C. **Atualização da literatura vigente sobre sistemas produto-serviço (PSS): uma análise da produção qualificada entre 2006 e 2010**. XVIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Paulo, Brasil, 2011.

BIANCHI, N. P.; EVANS, S.; REVETRIA, R.; TONELLI, F. **Influencing factors of successful transitions towards product-service systems: A simulation approach**. International Journal of Mathematics and Computers in Simulation, v. 3, n. 1, p. 30-43, 2009.

BRANDSTOTTER, M.; HABERL, M.; KNOTH, R.; KOPACEK, B.; KOPACEK, P. **IT on demand-towards an environmental conscious service system for Vienna (AT)**. In: ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS DESIGN AND INVERSE MANUFACTURING, 2003. ECODSIGN'03. 2003 3RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON. IEEE, 2003. p. 799-802.

BRASIL Maior. **Inovar para competir. Competir para crescer**. [Brasília]: [s.n.], [2011]. 24p. Disponível em: <http://www.brasilmaior.mdic.gov.br/wp-content/uploads/cartilha_brasilmaior.pdf>. Acesso em: 04-08-2011.

BUI, H.; BARUCH, Y. **Creating learning organizations: a systems perspective**. The Learning Organization, v. 17, n. 3, p. 10, 2010.

BUXTON, D.; FARR, R.; MCCARTHY, B. **The aero-engine value chain under future business environments: using agent-based simulation to understand dynamic behaviour**. Proceedings of the MITIP2006, 2006.

CENTRE FOR SUSTAINABLE DESIGN. **Sustainable service-systems (3S)**. Transition towards sustainability. In: SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE, 2002.

CESCHIN, F.; VEZZOLI, C. **The role of public policy in stimulating radical environmental impact reduction in the automotive sector: The need to focus on product-service system innovation.** International Journal of Automotive Technology and Management, v. 10, n. 2-3, p. 321-341, 2010.

COYLE, R. G. **System Dynamics Modelling: A Practical Approach.** Chapman & Hall, 1996. 432 p.

D'AMBRÓSIO, U. **Da realidade à ação: reflexões sobre educação e matemática.** São Paulo: Unicamp, 1986. 120 p.

DALÉ, L. B. C.; ROLDAN, L. B.; HANSEN, P. B. **Analysis of sustainability incorporation by industrial supply chain in Rio Grande do Sul State (Brazil).** Journal of Operations and Supply Chain Management, v. 4, n. 1, p. 25-36, 2011.

DUBELKO, J. J. **A sistem dynamics approach to modeling aircraft system production break costs.** 2002. (Master of Science in Acquisition Management). Department of Systems and Engineering Management, Air Force Institute of Technology - Air University, Ohio.

EHRENFELD, J. **Designing sustainable product/service systems.** Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2001. Proceedings EcoDesign 2001: Second International Symposium on, 2001. IEEE. p.12-23.

ELKINGTON, J. **Enter the triple bottom line.** In: HENRIQUES, A. e RICHARDSON, J. (Ed.). THE TRIPLE BOTTOM LINE: DOES IT ALL ADD UP?: London: Earthscan Publications Ltd, 2004. p.1-16.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. O.; TASCA, J. E. **ProKnow-C, Knowledge Development Process - Constructivist. *Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI.*** Brasil 2010.

EVANS, S.; PARTIDÁRIO, P. J.; LAMBERT, J. **Industrialization as a key element of sustainable product-service solutions.** International Journal of Production Research, v. 45, n. 18-19, p. 4225-4246, 2007.

FAN, C.-Y.; FAN, P.-S.; CHANG, P.-C. **A system dynamics modeling approach for a military weapon maintenance supply system.** International Journal Production Economics, n. 128, p. 457-469, 2010.

FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. Massachusetts Institute of Technology Press, 1961. 464 p.

_____. **System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarten through 12th Grade Education**. Technical Report D-4337, MIT System Dynamics in Education Project. 1992

_____. **Road Maps 2: A Guide to Learning System Dynamics**. Technical Report D-4502-6, MIT System Dynamics in Education Project. 1993.

_____. **Road Map 1: A Guide to Learning System Dynamics**. Technical Report D-4501-7, MIT System Dynamics in Education Project. 2005.

FORRESTER, J. W.; SENGE, P. M. **Test for Building Confidence in System Dynamics Models**. TIMS studies in the Management Sciences, n. 14, p. 209-228, 1980.

FUJIMOTO, J.; UMEDA, Y.; TAMURA, T.; TOMIYAMA, T.; KIMURA, F. **Development of Service-Oriented Products Based on the Inverse Manufacturing Concept**. Environmental Science & Technology, v. 37, n. 23, p. 5398-5406, 2003.

GALE, B. T.; WOOD, R. C. **Gerenciando o valor do cliente: criando qualidade e serviços que os clientes pode ver**. São Paulo: Pioneira, 1996. 368 p.

GENG, X.; CHU, X.; XUE, D.; ZHANG, Z. **A systematic decision-making approach for the optimal product-service system planning**. Expert Systems with Applications, v. 38, n. 9, p. 11849-11858, 2011.

GOEDKOOP, M. J.; VAN HALEN, C. J. G.; TE RIELE, H. R. M.; ROMMENS, P. J. M. **Product Service Systems: Ecological and Economic Basics**. *Report for Dutch Ministries of Environment (VROM) and Economic Affairs (EZ)*, 1999.

HARA, T.; ARAI, T.; SHIMOMURA, Y. **A Concept of Service Engineering: A Modeling Method and A Tool for Service Design**. Service systems and service management, 2006 International Conference on. Troyes: IEEE: 13-18 p. 2006.

HARA, T.; ARAI, T.; SHIMOMURA, Y.; SAKAO, T. **Service CAD system to integrate product and human activity for total value**. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v. 1, n. 4, p. 262-271, 2009.

HOFFMAN, K., D.; BATESON, J. E. G. **Princípios de marketing de serviços: conceitos, estratégias e casos**. 2 ed. São Paulo: Pioneira, 2002. 600 p.

HUANG, G. Q. **Design for X: Concurrent Engineering Imperatives**. Chapman & Hall, 1996. 489 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE. Contas nacionais trimestrais: Indicadores de volume e valores correntes**. Outubro / Dezembro 2012. [s.l.: s.n.]: 43 p. [2013]. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2012/pib-vol-val_201204caderno.pdf>. Acesso em: 18-10-2013.

JACKSON, M. C. **Systems thinking: creative holism for managers**. John Wiley & Sons, 2007. 376 p.

JIN, S.; LIYA, W. **A methodology based on Fuzzy Extended Quality Function Deployment for determining optimal engineering characteristics in product-service system design**. SERVICE OPERATIONS AND LOGISTICS, AND INFORMATICS, 2008. IEEE/SOLI 2008. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2008. 12-15 out. 2008. p.331-336.

KAZEMI, M. A. A.; ESHLAGHY, A. T.; TAVASOLI, S. **Developing the product strategy via product life cycle simulation according to the system dynamics approach**. Applied Mathematical Sciences, v. 5, n. 17, p. 845-862, 2011.

KHAN, Z. **Design for assembly**. Assembly Automation, v. 28, n. 3, p. 200-206, 2008.

KIM, Y. S.; WANG, E.; LEE, S. W.; CHO, Y. C. **A Product-Service System Representation and Its Application in a Concept Design Scenario**. Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS2) Conference. Cranfield University Press, 2009.

KIMITA, K.; SHIMOMURA, Y.; ARAI, T. **Evaluation of customer satisfaction for PSS design.** Journal of Manufacturing Technology Management, v. 20, n. 5, p. 654-673, 2009.

KOMOTO, H.; TOMIYAMA, T. **Integration of a service CAD and a life cycle simulator.** CIRP Annals - Manufacturing Technology, v. 57, n. 1, p. 9-12, 2008.

KOMOTO, H.; TOMIYAMA, T.; NAGEL, M.; SILVESTER, S.; BREZET, H. Life Cycle Simulation for Analyzing Product Service Systems. **In: Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2005. Eco Design 2005. Fourth International Symposium on. IEEE 2005.** p.386-393.

KOTLER, P. **Administração de marketing: análise, planejamento, implementação e controle.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 1998. 725 p.

KUO, T. C.; MA, H. Y.; HUANG, S. H.; HU, A. H.; HUANG, C. S. **Barrier analysis for product service system using interpretive structural model.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 49, n. 1-4, p. 407-417, 2010.

LAI, C. L.; LEE, W. B.; IP, W. H. **A study of system dynamics in just-in-time logistics.** Journal of Materials Processing Technology, v. 138, n. 1-3, p. 265-269, 2003.

LAS CASAS, A. L. **Marketing de serviços.** São Paulo: Atlas, 1991. 163 p.

LEE, S.; GEUM, Y.; LEE, H.; PARK, Y. **Dynamic and multidimensional measurement of product-service system (PSS) sustainability: a triple bottom line (TBL)-based system dynamics approach.** Journal of Cleaner Production, v. 32, n. 0, p. 173-182, 2012.

LELAH, A.; MATHIEUX, F.; BRISSAUD, D. **Contributions to eco-design of machine-to-machine product service systems: The example of waste glass collection.** Journal of Cleaner Production. v. 19, n. 9-10, p. 1033-1144, 2011.

LOVELOCK, C.; WIRTZ, J.; HEMZO, M. A. **Marketing de serviços: pessoas, tecnologia e estratégia.** 7 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 530 p.

LOW, M. K.; LAMVIK, T.; WALSH, K.; MYKLEBUST, O. **Product to service eco-innovation: the TRIZ model of creativity explored.** *Electronics and the Environment, 2000. ISEE 2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on*, 2000. p.209-214.

MANZINI, E.; COLLINA, L.; EVANS, S. **Solution oriented partnership: How to design Industrialised sustainable solutions.** UK: Cranfield University, 2004.

MANZINI, E.; VEZOLLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais.** São Paulo: Edusp, 2002. 366 p.

_____. **A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the 'environmentally friendly innovation' Italian prize.** *Cleaner Production*, v. 11, n. 8, p. 851-857, 2003.

MARTIN, L. A. **The first step.** Technical Report D-4694, MIT System Dynamics in Education Project. 1997.

MAUSSANG, N.; SAKAO, T.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. **A model for designing product-service systems using functional analysis and agent based model.** *Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design (ICED07)*. Paris, France: 11 p. p. 2007.

MAUSSANG, N.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. **Evaluation of Product-Service Systems During Early Design Phase Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier.** In: MITSUISHI, M.;UEDA, K., et al (Ed.): Springer London, 2008. p.547-552.

MAXWELL, D.; SHEATE, W.; VAN DER VORST, R. **Functional and systems aspects of the sustainable product and service development approach for industry.** *Journal of Cleaner Production*, v. 14, n. 17, p. 1466-1479, 2006.

MÉLÈSE, J. **A gestão pelos sistemas.** Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1973. 260 p.

MEPSS Webtool. [2011?]. Disponível em: < <http://www.mepss.nl/> >. Acesso em: 25-11-2011.

MIT. **Road Maps: A Guide to Learning System Dynamics.** 1996. Disponível em: < <http://sysdyn.mit.edu/road-maps/home.html> >. Acesso em: 01/10/2012.

MONT, O. **Introducing and developing a Product-Service System (PSS) concept in Sweden [Elektronisk resurs].** IIIIEE Reports, p. 6, 2001.

_____. **Clarifying the concept of product-service system.** Journal of Cleaner Production, v. 10, n. 3, p. 237-245, 2002.

_____. **Product-service Systems: Panacea of Myth?** VDM Verlah, 2004.

MORELLI, N. **Product-service systems, a perspective shift for designers: A case study: the design of a telecentre.** Design Studies, v. 24, n. 1, p. 73-99, 2003.

MORELLI, N. **Developing new product service systems (PSS): methodologies and operational tools.** Journal of Cleaner Production, v. 14, n. 17, p. 1495-1501, 2006.

MULLER, P.; BLESSING, L. **Development of product-service-systems – comparison of product and service development process models.** In : **Proceedings of the international conference on engineering design ICED'07** Paris, France 2007.

MÜLLER, P.; KEBIR, N.; STARK, R.; BLESSING, L. **PSS Layer Method – Application to Microenergy Systems. Introduction to Product/Service-System Design.** In: SAKAO, T. e LINDAHL, M. (Ed.). **Introduction to Product/Service-System Design.** New York: Springer London, 2009. p.3-30.

NICKELS, W. G.; WOOD, M. B. *Marketing: relacionamentos, qualidade, valor.* Rio de Janeiro: LTc, 1999.

OGATA, K. **System Dynamics.** 2 ed. United States of America: Prentice-Hall International, 1998. 758 p.

OLIVER, R. L. **Satisfaction: A Behavioural Perspective on the Customer.** Boston: McGraw-Hill, 1997.

OLSSON, A.; LARSSON, A. C. **Value Creation in PSS Design Through Product and Packaging Innovation Processes.** In: SAKAO, T. e

LINDAHL, M. (Ed.). **Introduction to Product/Service-System Design**. New York: Springer London, 2009. p.93-109.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos métodos e aplicações**. 6 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 411 p.

PARASURAMAN, A.; BERRY, L. L.; ZEITHAML, V. A. **SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality**. Journal of Retailing, v. 64, n. 1, p. 12-40, 1988.

PHUMBUA, S.; TIAHJONO, B. **Towards product-service systems modelling: a quest for dynamic behaviour and model parameters**. International Journal of Production Research, p. 1-18, 2011.

PORTER, M. E. **Estrategia Competitiva: técnicas para a análise de indústrias e da concorrência**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 409 p.

RESE, M.; KARGER, M.; STROTMANN, W.-C. **The dynamics of industrial product service systems (IPS2) – using the net present value approach and real options approach to improve life cycle management**. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v. 1, n. 4, p. 279-286, 2009.

RICHTER, A.; SADEK, T.; STEVEN, M. **Flexibility in industrial product-service systems and use-oriented business models**. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v. 3, n. 2, p. 128-134, 2010.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; DE TOLEDO, J. C.; DA SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. Saraiva, 2006. 542 p.

SAKAO, T.; SHIMOMURA, Y. **A Novel Design Methodology for Services to Increase Value Combining Service and Product based on Service Engineering**. Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2005. Eco Design 2005. Fourth International Symposium on. Tokyo: 8 p. 2005.

SCHUH, G.; BOOS, W.; KOZIELSKI, S. **Life Cycle Cost-Orientated Service Models for Tool and Die Companies**. Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS2) Conference. Cranfield University 2009.

SCHUH, G.; GUDERGAN, G. **Service Engineering as an Approach to Designing Industrial Product Service Systems**. Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS2) Conference. Cranfield University 2009.

SENGE, P. M.; ROSS, R.; ROBERTS, C.; KLEINER, A.; SMITH, B. **A quinta disciplina: caderno de campo: estratégias e ferramentas para construir uma organização que aprende**. Qualitymark, 1999. 544 p.

SENGE, P. M.; STERMAN, J. D. **Systems thinking and organizational learning**: Acting locally and thinking globally in the organization of the future. European Journal of Operational Research, v. 59, n. 1, p. 137-150, 1992.

SIRDESHMUKH, D.; SINGH, J.; SABOL, B. **Consumer Trust, Value, and Loyalty in Relational Exchanges**. Journal of Marketing, v. 66, n. 1, p. 15-37, 2002.

STANKE, A.; MURMAN, E. **A framework for achieving lifecycle value in aerospace product development**: International Council of Aeronautical Sciences: 10 p. 2002. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/1721.1/7317> >.

STERMAN, J. D. **Appropriate Summary Statistics for Evaluating the Historical Fit of System Dynamists Models**. Dynamica, v. 10, n. part II, p. 51-66, 1984.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. McGraw-Hill, 2000. 982 p.

TAGUCHI, G. **Engenharia da qualidade em sistemas de produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990. 235 p.

TUKKER, A. **Eight types of product-service system: eight ways to sustainability?** Experiences from SusProNet. Business Strategy and the Environment, v. 13, n. 4, 2004.

TUKKER, A.; TISCHNER, U. **New business for old Europe: product service development, competitiveness and sustainability**. UK: Greenleaf, 2006. 479 p.

VAN HALEN, V. E. W. **Methodology for product service system innovation**: How to implement clean, clever and competitive strategies in European industries. Assen, Netherlands: 2005. 220 p.

VENTANA SYSTEM. Vensim Software. 2012. Disponível em: < <http://www.vensim.com/> >. Acesso em: 04-09.

VEZZOLI, C. **System design for sustainability**: Theory, methods and tools for a sustainable “satisfaction-system” design. Milano, Italy: Maggioli Editore, 2007. 260 p.

VON BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. Vozes, 2008. 360 p.

WANG, P. P.; MING, X. G.; LI, D.; KONG, F. B. W. L.; WU, Z. Y. **Modular Development of Product Service Systems**. Concurrent Engineering: Research and Applications, v. 19, n. 1, p. 85-96, 2011.

WEBER, C.; STEINBACH, M.; BOTTA, C.; DEUBEL, T. **Modelling of product-service systems (PSS) based on the PDD approach**. Proceedings of the international design conference - Design 200. Dubrovnik, Croatia: Saarländische Universitäts - und Landesbibliothek: 547-554 p. 2004. Disponível em: < <http://scidok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2008/1619/> >.

WILLIAMS, A. **Product service systems in the automobile industry**: contribution to system innovation? *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 1, p. 1093-1103, 2007.

WIMMER, R.; KANG, M. J.; TISCHNER, U.; VERKUIJL, M.; FRESNER, J.; MÖLLER, M. **Erfolgsstrategien für Produkt-Dienstleistungssysteme**. Berichte aus Energie-und Umweltforschung. Vienna: Austria, 2007.

WONG, M. **Implementation of innovative product service-systems in the consumer goods industry**. 2004. (PhD Thesis). Cambridge University.

WOODRUFF, R. **Customer Value**: the next source for competitive advantage. *Journal of the Academy of Marketing Science*, v. 25, n. 2, p. 139-153, 1997.

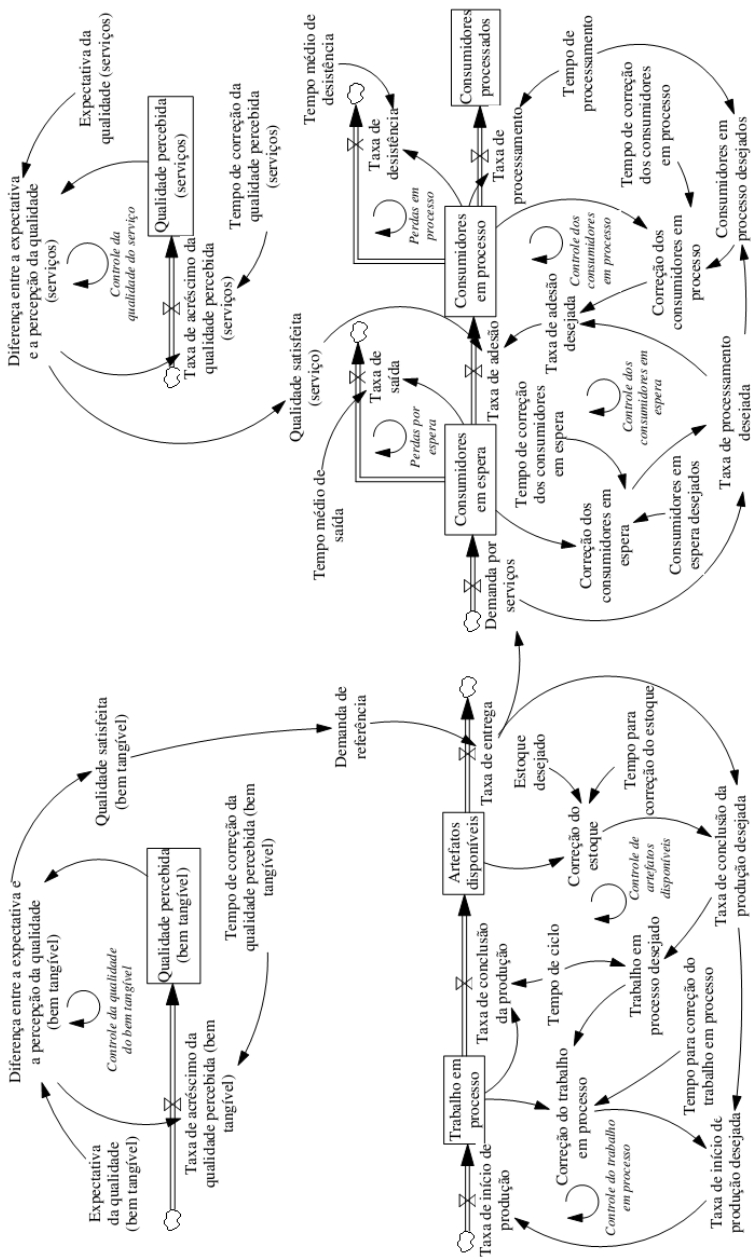
YOON, B.; KIM, S.; RHEE, J. **An evaluation method for designing a new product-service system**. *Expert Systems with Applications*, v. 39, n. 3, p. 3100-3108, 2012.

ZEITHAML, V. **Consumer Perceptions of Price, Quality, and Value: A means-end Model and Synthesis of Evidence.** Journal of Marketing, v. 52, n. 3, p. 2-22, 1988.

ZHAI, L. **A system dynamics approach to supplier partnership management in supply chain.** 2004. (Master). Engineering Systems Division, Massachusetts Institute of Technology.

ZHANG, Y.;DILTS, D. **System dynamics of supply chain network organization structure.** Information Systems and E-Business Management, v. 2, n. 2, p. 187-206, 2004.

APÊNDICE A - Estrutura do modelo



APÊNDICE B - Variáveis e equações do modelo

Rótulo	Nomenclatura	Equações	Unidade
Artefatos disponíveis	AD	$AD_T = \int_{T_0}^T [TxC_{(t)} - TxE_{(t)}] dt + AD_{T_0}$	Artefatos
		$\frac{d(AD)}{dt} = TxC_{(t)} - TxE_{(t)}$	
Trabalho em processo	TP	$TP_T = \int_{T_0}^T [TxI_{(t)} - TxC_{(t)}] dt + TP_{T_0}$	Artefatos
		$\frac{d(TP)}{dt} = TxI_{(t)} - TxC_{(t)}$	
Taxa de entrega	TxE	$TxE_{(t)} = DR_{(t)}$	$\frac{\text{Artefatos}}{\text{Semana}}$
Taxa de conclusão da produção	TxC	$TxC_{(t)} = \frac{TP_{(t)}}{TeC}$	$\frac{\text{Artefatos}}{\text{Semana}}$
Taxa de início de produção	TxI	$TxI_{(t)} = TxId_{(t)}$ sendo: $f(x) \geq 0$	$\frac{\text{Artefatos}}{\text{Semana}}$
Taxa de início de produção desejada	TxId	$TxId_{(t)} = TxCd_{(t)} + CrTP_{(t)}$	$\frac{\text{Artefatos}}{\text{Semana}}$
Correção do trabalho em processo	CrTP	$CrTP_{(t)} = \frac{(TPd_{(t)} - TP_{(t)})}{TeTP}$	$\frac{\text{Artefatos}}{\text{Semana}}$
Trabalho em processo desejado	TPd	$TPd_{(t)} = TxCd_{(t)} \cdot TeC$	Artefatos
Taxa de conclusão da produção desejada	TxCd	$TxCd_{(t)} = CrAD_{(t)} + TxE_{(t)}$ sendo: $f(x) \geq 0$	$\frac{\text{Artefatos}}{\text{Semana}}$
Correção do estoque	CrAD	$CrAD_{(t)} = \frac{(Add - AD_{(t)})}{TeAD}$	$\frac{\text{Artefatos}}{\text{Semana}}$
Consumidores em espera	CE	$CE_T = \int_{T_0}^T [DeS_{(t)} - TxA_{(t)} - TxS_{(t)}] dt + CE_{T_0}$	Consumidores
		$\frac{d(CE)}{dt} = DeS_{(t)} - TxA_{(t)} - TxS_{(t)}$	

Consumidores em processo	CP	$CP_T = \int_{T_0}^T [TxA_{(t)} - TxP_{(t)} - TxD_{(t)}]dt + CP_{T_0}$	Consumidores
		$\frac{d(CP)}{dt} = TxA_{(t)} - TxP_{(t)} - TxD_{(t)}$	
Consumidores processados	CPR	$CPR_T = \int_{T_0}^T [TxP_{(t)}]dt + CPR_{T_0}$	Consumidores
		$\frac{d(CPR)}{dt} = TxP_{(t)}$	
Taxa de adesão	TxA	$TxA_{(t)} = TxAd_{(t)} \cdot QSS$ <i>sendo: $f(x) \geq 0$</i>	Consumidores Semana
Taxa de adesão desejada	$TxAd$	$TxAd_{(t)} = TxPd_{(t)} + CrCP_{(t)}$	Consumidores Semana
Correção dos consumidores em processo	$CrCP$	$CrCP_{(t)} = \frac{(CPd_{(t)} - CP_{(t)})}{TeCP}$	Consumidores Semana
Consumidores em processo desejados	CPd	$CPd_{(t)} = TxPd_{(t)} \cdot TeP$	Consumidores
Taxa de processamento desejada	$TxPd$	$TxPd_{(t)} = CrCE_{(t)} + DeS_{(t)}$	Consumidores Semana
Correção dos consumidores em espera	$CrCE$	$CrCE_{(t)} = \frac{(CE_{(t)} - CEd)}{TeCE}$	Consumidores Semana
Taxa de processamento	TxP	$TxP_{(t)} = \frac{CP_{(t)}}{TeP}$	Consumidores Semana
Taxa de saída	TxS	$TxS_{(t)} = \frac{CE_{(t)}}{TeS}$	Consumidores Semana
Taxa de desistência	TxD	$TxD_{(t)} = \frac{CP_{(t)}}{TeD}$	Consumidores Semana
Qualidade percebida (bem tangível)	QPA	$QPA_T = \int_{T_0}^T [TxPA_{(t)}]dt + QPA_{T_0}$	
		$\frac{d(QPA)}{dt} = TxPA_{(t)}$	
Qualidade percebida (serviço)	QPS	$QPS_T = \int_{T_0}^T [TxPS_{(t)}]dt + QPS_{T_0}$	
		$\frac{d(QPS)}{dt} = TxPS_{(t)}$	

Diferença entre a percepção e a expectativa da qualidade (bem tangível)	(ΔA)	$\Delta A_{(t)} = EA - QPA_{(t)}$	
Diferença entre a percepção e a expectativa da qualidade (serviço)	(ΔS)	$\Delta S_{(t)} = ES_{(t)} - QPS_{(t)}$	
Taxa de acréscimo da qualidade percebida (bem tangível)	$TxPA$	$TxPA_{(t)} = \frac{\Delta A_{(t)}}{TeQA}$	
Taxa de acréscimo da qualidade percebida (serviço)	$TxPS$	$TxPS_{(t)} = \frac{\Delta S_{(t)}}{TeQS}$	
Demanda de referência	DR	$DR = \left\{ 15 + \left[5 \cdot \sin \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{12} \right) \right] \right\} \cdot QSA$	$\frac{\text{Artefatos}}{\text{Semana}}$

APÊNDICE C – Constantes do modelo

Rótulo	Nomen- clatura	Unidade
Artefatos disponíveis iniciais	AD_{T_0}	Artefatos
Trabalho em processo inicial	TP_{T_0}	Artefatos
Tempo para correção do trabalho em processo	$TeTP$	Semanas
Tempo de ciclo	TeC	Semanas
Estoque desejado	ADd	Artefatos
Tempo para correção do estoque	$TeAD$	Semanas
Consumidores em processo iniciais	CP_{T_0}	Consumidores
Consumidores processados iniciais	CPR_{T_0}	Consumidores
Tempo de processamento	TeP	Semanas
Tempo de correção dos consumidores em processo	$TeCP$	Semanas
Tempo de correção dos consumidores em espera	$TeCE$	Semanas
Consumidores em espera desejados	CEd	Consumidores
Qualidade percebida (bem tangível) inicial	QPA_{T_0}	
Qualidade percebida (serviço) inicial	QPS_{T_0}	
Expectativa da qualidade (bem tangível)	EA	
Expectativa da qualidade (serviço)	ES	
Tempo de correção da qualidade percebida (bem tangível)	$TeQA$	Semanas
Tempo de correção da qualidade percebida (serviços)	$TeQS$	Semanas
Tempo médio de saída	TeS	Semanas
Tempo médio de desistência	TeD	Semanas

APÊNDICE D - Equações na linguagem usada pelo Vensim PLE®

- (01) Artefatos disponíveis= INTEG (Taxa de conclusão da produção-Taxa de entrega, 0)
Units: artefatos
- (02) Consumidores em espera= INTEG (Demanda por serviços-Taxa de adesão-Taxa de saída, 0)
Units: Consumidores
- (03) Consumidores em espera desejados= 0
Units: Consumidores
- (04) Consumidores em processo= INTEG (Taxa de adesão-Taxa de desistência-Taxa de processamento, 0)
Units: Consumidores
- (05) Consumidores em processo desejados= Taxa de processamento desejada*Tempo de processamento
Units: Consumidores
- (06) Consumidores processados= INTEG (Taxa de processamento, 0)
Units: Consumidores
- (07) Correção do estoque= (Estoque desejado-Artefatos disponíveis)/Tempo para correção do estoque
Units: artefatos/Semana
- (08) Correção do trabalho em processo= (Trabalho em processo desejado-Trabalho em processo)/Tempo para correção do trabalho em processo
Units: artefatos/Semana
- (09) Correção dos consumidores em espera= (Consumidores em espera-Consumidores em espera desejados)/Tempo de correção dos consumidores em espera
Units: Consumidores/Semana

- (10) Correção dos consumidores em processo=
 (Consumidores em processo desejados-Consumidores em
 processo)/Tempo de correção dos consumidores em processo
 Units: Consumidores/Semana
- (11) Demanda de referência=A FUNCTION OF(Demanda de
 referência,"Qualidade satisfeita (bem tangível)"
)
 Demanda de referência=
 (15+(5*SIN(2*3.14159*Time/12)))*"Qualidade satisfeita
 (bem tangível)"
 Units: artefatos/Semana
- (12) Demanda por serviços=
 DELAY FIXED(Taxa de entrega, 5 , 0)
 Units: Consumidores/Semana
- (13) "Diferença entre a expectativa e a percepção da qualidade (bem
 tangível)"
 =
 "Expectativa da qualidade (bem tangível)"-"Qualidade
 percebida (bem tangível)"
 Units: **undefined**
- (14) "Diferença entre a expectativa e a percepção da qualidade (serviços)"
 =
 "Expectativa da qualidade (serviços)"-"Qualidade percebida
 (serviços)"
 Units: **undefined**
- (15) Estoque desejado=
 30
 Units: artefatos
- (16) "Expectativa da qualidade (bem tangível)"=
 1
 Units: **undefined**
- (17) "Expectativa da qualidade (serviços)"=
 1
 Units: **undefined**
- (18) FINAL TIME = 48
 Units: week
 The final time for the simulation.

- (19) INITIAL TIME = 0
Units: week
The initial time for the simulation.
- (20) "Qualidade percebida (bem tangível)"= INTEG (
"Taxa de acréscimo da qualidade percebida (bem tangível)",
1
)
Units: **undefined**
- (21) "Qualidade percebida (serviços)"= INTEG (
"Taxa de acréscimo da qualidade percebida (serviços)",
1)
Units: **undefined**
- (22) "Qualidade satisfeita (bem tangível)"=
IF THEN ELSE("Diferença entre a expectativa e a percepção
da qualidade (bem tangível)"
<= 0, 1, 0)
Units: **undefined**
- (23) "Qualidade satisfeita (serviço)"=
IF THEN ELSE("Diferença entre a expectativa e a percepção
da qualidade (serviços)"
<= 0, 1, 0)
Units: **undefined**
- (24) SAVEPER =
TIME STEP
Units: week [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (25) "Taxa de acréscimo da qualidade percebida (bem tangível)"=
"Diferença entre a expectativa e a percepção da qualidade
(bem tangível)"
/"Tempo de correção da qualidade percebida (bem tangível)"
Units: Qualidade/Semana
- (26) "Taxa de acréscimo da qualidade percebida (serviços)"=
"Diferença entre a expectativa e a percepção da qualidade
(serviços)"
/"Tempo de correção da qualidade percebida (serviços)"
Units: Qualidade/Semana

- (27) Taxa de adesão=
 $(\text{MAX}(0, \text{Taxa de adesão desejada})) * \text{Qualidade satisfeita}$
 (serviço)"
 Units: Consumidores/Semana
- (28) Taxa de adesão desejada=
 $\text{Taxa de processamento desejada} + \text{Correção dos consumidores}$
 em processo
 Units: Consumidores/Semana
- (29) Taxa de conclusão da produção=
 $\text{Trabalho em processo} / \text{Tempo de ciclo}$
 Units: artefatos/Semana
- (30) Taxa de conclusão da produção desejada=
 $\text{MAX}(0, \text{Correção do estoque} + \text{Taxa de entrega})$
 Units: artefatos/Semana
- (31) Taxa de desistência=
 $\text{Consumidores em processo} * \text{Tempo médio de desistência}$
 Units: **undefined**
- (32) Taxa de entrega=
 $\text{Demanda de referência}$
 Units: artefatos/Semana
- (33) Taxa de início de produção=
 $\text{MAX}(0, \text{Taxa de início de produção desejada})$
 Units: artefatos/Semana
- (34) Taxa de início de produção desejada=
 $\text{Correção do trabalho em processo} + \text{Taxa de conclusão da}$
 produção desejada
 Units: artefatos/Semana
- (35) Taxa de processamento=
 $\text{Consumidores em processo} / \text{Tempo de processamento}$
 Units: Consumidores/Semana
- (36) Taxa de processamento desejada=
 $\text{Demanda por serviços} + \text{Correção dos consumidores em}$
 espera
 Units: Consumidores/Semana
- (37) Taxa de saída=

Consumidores em espera*Tempo médio de saída
Units: Consumidores/Semana

- (38) Tempo de ciclo=
2
Units: Semana
2
- (39) "Tempo de correção da qualidade percebida (bem tangível)"=
5
Units: Semana
- (40) "Tempo de correção da qualidade percebida (serviços)"=
5
Units: Semana
- (41) Tempo de correção dos consumidores em espera=
0.3
Units: Semana
- (42) Tempo de correção dos consumidores em processo=
0.75
Units: Semana
- (43) Tempo de processamento=
1
Units: Semana
- (44) Tempo médio de desistência=
0
Units: **undefined**
- (45) Tempo médio de saída=
0
Units: **undefined**
- (46) Tempo para correção do estoque=
3
Units: Semana
- (47) Tempo para correção do trabalho em processo=
0.75
Units: Semanas
- (48) TIME STEP = 0.06

Units: week [0,?]

The time step for the simulation.

- (49) Trabalho em processo= $\text{INTEG} \left(\begin{array}{l} \text{Taxa de início de produção-Taxa de conclusão da produção,} \\ 0 \end{array} \right)$

Units: artefatos

- (50) Trabalho em processo desejado= $\text{Taxa de conclusão da produção desejada} * \text{Tempo de ciclo}$

Units: artefatos