

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS  
NÍVEL MESTRADO**

**MARCOS LEANDRO HOFFMANN SOUZA**

**CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA  
VISUALIZAÇÃO DA DEMANDA DE ESTIRENO NO MERCADO BRASILEIRO**

**São Leopoldo**

**2016**

MARCOS LEANDRO HOFFMANN SOUZA

CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA  
VISUALIZAÇÃO DA DEMANDA DE ESTIRENO NO MERCADO BRASILEIRO

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Luís Henrique Rodrigues

São Leopoldo

2016

S719c Souza, Marcos Leandro Hoffmann  
Construção de um modelo de dinâmica de sistemas para  
visualização da demanda de estireno no mercado brasileiro / por  
Marcos Leandro Hoffmann Souza. – 2016.  
174 f.: il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos  
Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2016.  
“Orientação: Prof. Dr. Luís Henrique Rodrigues.”

1. Dinâmica de sistemas. 2. Planejamento de cenários.  
3. Demanda de estireno. 4. Modelo XMILE. I. Título.

CDU: 658.01

MARCOS LEANDRO HOFFMANN SOUZA

CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA  
VISUALIZAÇÃO DA DEMANDA DE ESTIRENO NO MERCADO  
BRASILEIRO

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Aprovado em 22/01/2016

BANCA EXAMINADORA

---

Ricardo Augusto Cassel – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

---

Luís Felipe Riehs Camargo – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

---

Daniel Pacheco Lacerda – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

*À memória do meu pai, Júlio Mauro Huff de Souza, que deixou muita saudade, e que eu gostaria muito que estivesse presente neste momento.*

## AGRADECIMENTOS

Como já dizia Anitelli: “Sonho parece verdade quando a gente esquece de acordar”. Hoje, vivo uma realidade que parece um sonho, mas foi preciso muito esforço, determinação, paciência, perseverança, ousadia e maleabilidade para chegar até aqui, e nada disso eu teria conseguido sozinho. Minha terna gratidão a todos os que colaboraram para que este sonho pudesse ser concretizado.

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha saúde e disposição para seguir até o fim dessa caminhada.

Aos meus pais Nadir Luiza e Júlio Mauro (*In memoriam*), que de uma forma simples e correta me ensinaram a valorizar os estudos e me incentivaram, acreditando na minha capacidade.

Aos meus irmãos Carlos, Eliane e Joceli, que sempre me incentivaram a ir em busca dos meus sonhos.

À minha filha Ana Caroline, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo seu amor que incentivou nos momentos de tensão.

À minha noiva, amiga e companheira Lia, que dedicou grande compreensão, amor, carinho e incentivo.

Ao Prof. Dr. Luís Henrique Rodrigues, por sua amizade, confiança, apoio e orientação no desenvolvimento do trabalho. Luís, conforme diz o amigo Secundino, quero ser como você quando crescer.

Aos amigos do GMAP, em especial aos Prof. Dr. Daniel Lacerda, Prof. Dr. Luís Felipe Riehs Camargo e Maria Isabel Wolf Motta Morandi, pelos ensinamentos e colaboração neste trabalho.

A todos os amigos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste sonho.

Agradeço aos colegas de trabalho: Clarissa P. Westphalen, Flávio Barbosa, Roberto Junior, Luís Fernando Veiga e Paulo Schutz, que mesmo em um período de grande transição disponibilizaram preciosos conhecimentos e apoiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a CAPES e ao Governo Brasileiro, que me proporcionaram realizar este sonho concedendo-me uma bolsa de estudos.

*Há três caminhos para o fracasso: não ensinar o que se sabe, não praticar o que se ensina, e não perguntar o que se ignora.*

*São Beda*

## RESUMO

O crescimento da indústria petroquímica é embasado nas aplicações do usuário final, como o setor automotivo e o de construção civil, que são os principais impulsionadores do mercado de estireno. No entanto, o cenário de desenvolvimento e utilização de produtos substitutos aos petroquímicos é realidade e impõe concorrência nas aplicações dos derivados de petróleo. Nesse sentido, a presente dissertação tem por objetivo principal construir um modelo de dinâmica de sistemas para avaliar diferentes cenários, visualizando o comportamento da demanda de estireno ao longo do tempo. Visando a difundir a modelagem de dinâmica de sistemas, foi construído e testado um modelo utilizando o padrão de compartilhamento de modelos XMILE. Na primeira fase do projeto, gerou-se um entendimento maior sobre a temática e elaborou-se um mapa sistêmico, que foi utilizado na segunda fase para construir o modelo de validação das regressões explicativas da demanda de estireno. Na fase três, construiu-se o modelo de visualização e os cenários, avaliaram-se os cenários e utilizou-se o modelo de visualização para gerar aprendizagem. Já na fase quatro, foi construído e avaliado o modelo XMILE quanto à praticidade e portabilidade, com base em diferentes plataformas compatíveis com o XMILE. Os cenários construídos e simulados tiveram o propósito de avaliar o impacto que o uso de materiais substitutos e a variação do PIB causam no mercado de estireno. A utilização da dinâmica de sistemas em conjunto com o planejamento de cenários mostrou-se eficiente, pois diferentes estratégias para o mercado puderam ser avaliadas com base nos cenários simulados. Durante a fase que contemplou a avaliação e a aprendizagem, os participantes não demonstraram sensibilidade para identificar variações na demanda ao longo do tempo, motivo pelo qual diferentes valores para os eixos de incertezas são empregados. Isso reforça a importância da utilização de modelos de dinâmica de sistemas para esse fim. Por fim, o uso do XMILE pode ser uma alternativa para o futuro, no entanto, devido ao limitado uso da ferramenta por desenvolvedores de softwares, não há grande vantagem em empregar esse padrão.

**Palavras-chave:** Dinâmica de Sistemas. Planejamento de Cenários. Demanda de Estireno. Modelo XMILE.

## ABSTRACT

The growth of the petrochemical industry is grounded in end-user applications, such as automotive and construction, which are the main drivers of the styrene market. However, the development and use of substitutes to petrochemical, is already a reality and imposes competition in the applications of petroleum products. In this sense, this thesis is primarily engaged in the construction of a system dynamics model to evaluate different scenarios, visualizing the behavior of styrene demand over time. In order to spread the modeling of dynamic systems, it was built and tested a model using the XMILE models sharing pattern. In the first phase led to a greater understanding of the theme and the construction of a systemic map, which was used in the second phase, to build the validation of explanatory regressions of styrene demand model. In phase three, the display model was built, scenarios, assessment of scenarios and using the display model to generate learning. In the fourth phase, it was built and rated the XMILE model when the convenience and portability, using different platforms compatible with the XMILE. OS built and simulated scenarios, they had the purpose of evaluating the impact on the styrene market, caused by the use of substitute materials and the change in GDP. The use of dynamic systems, together with scenario planning, was efficient, as different strategies to market, could be evaluated based on simulated scenarios. During the assessment phase and learning, participants showed no sensitivity to identify variations in demand over time, where different values for the uncertainties axes are employed. This reinforces the importance of using system dynamics models for this purpose. Also, the use of XMILE may be a good tool in the future, however, due to limited use by software developers, there are great advantages in using this standard.

**Keywords:** System Dynamics. Scenario Planning. Styrene demand. Model XMILE.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Visão orientada a eventos.....	35
Figura 2 : Modelagem e aprendizagem.....	36
Figura 3: Diagrama exemplificando conexões e enlaces .....	38
Figura 4: Sistema de <i>feedback</i> .....	39
Figura 5: Atrasos em controle de <i>feedback</i> .....	39
Figura 6: Os níveis do pensamento sistêmico ilustrados pela metáfora do iceberg ..	42
Figura 7: Estoques e fluxos.....	45
Figura 8 : Interface do iThink.....	46
Figura 9 : Fluxos e estoques .....	47
Figura 10: Aspectos qualitativos.....	50
Figura 11: Representação do método de trabalho .....	60
Figura 12: Produtos de segmentos aromáticos .....	72
Figura 13: Uso final por produto – Mundo e Brasil (% ton, 2013).....	73
Figura 14: Uso final por produto – Mundo e Brasil (% em massa, 2013) .....	76
Figura 15: Modelo de ciclo de vida.....	78
Figura 16: Extrato da planilha para coleta de dados .....	83
Figura 17: Exemplo de padrão de comportamento .....	84
Figura 18: Extrato da tabela de correlação.....	85
Figura 19: Exemplo estrutura sistêmica parcial.....	88
Figura 20: ES representando o consumo de poliestireno.....	89
Figura 21: ES Representando o consumo de poliestireno expandido (EPS) .....	90
Figura 22: ES representando o consumo de resinas acrílicas e de poliéster .....	91
Figura 23: ES consumo de elastômero SBR .....	92
Figura 24: ES representando a relação existente na competitividade do SM .....	92
Figura 25: Estrutura sistêmica consolidada.....	94
Figura 26: Diagrama de caminho .....	96
Figura 27: Construção do diagrama de caminho.....	97
Figura 28: Demanda de PS.....	99
Figura 29: Resumo da análise de regressão de demanda de PS .....	100
Figura 30: Análise dos principais derivados de Estireno .....	101
Figura 31: Principais constituintes da demanda de Estireno.....	102
Figura 32: Análises da função de demanda .....	103

Figura 33: Teste de pressuposto de normalidade .....	104
Figura 34: Teste Pesarán-Pesarán .....	105
Figura 35: Função estireno modelo.....	106
Figura 36: Modelo computacional de validação .....	107
Figura 37: Verificação qualitativa do modelo.....	109
Figura 38: Teste t para médias, modelo x real .....	110
Figura 39: Modelo computacional de visualização .....	112
Figura 40: Construção de cenários .....	115
Figura 41: Cenários definidos.....	117
Figura 42: Painel de Dados do Modelo Computacional. ....	119
Figura 43: Modelo de planilha de projeção dos dados de entrada do modelo .....	120
Figura 44: Demanda de estireno cenário 1 .....	121
Figura 45: Demanda de estireno cenário 2 .....	123
Figura 46: Demanda de estireno cenário 3 .....	124
Figura 47: Demanda de estireno cenário 4 .....	125
Figura 48: Interface do modelo para aprendizagem.....	131
Figura 49: Cenário com acréscimo na oferta.....	133
Figura 50: Cenário perda de mercado do poliestireno .....	134
Figura 51: Diagrama de fluxo .....	136
Figura 52: Diagrama de fluxo XML.....	136
Figura 53: Diagrama de fluxo com conjunto de valores gráfico.....	136
Figura 54: Diagrama de fluxo gráfico XML .....	137
Figura 55: Tela inicial do STELLA .....	138
Figura 56: Modelo XMILE no software STELLA.....	139
Figura 57: Modelo de verificação XMILE STELLA .....	140
Figura 58: Saídas do iThink e do STELLA .....	140
Figura 59: Página inicial do Insight Maker.....	141
Figura 60: Área de trabalho do Insight Maker .....	142
Figura 61: Tela de erro do Insight Maker .....	142
Figura 62: Modelo de Verificação no Insight Maker .....	143
Figura 63: Modelo de verificação com Insight Maker .....	144
Figura 64: Comparativo das saídas do modelo .....	145

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Índice de produção física industrial.....	25
Gráfico 2: Produção global de bioplásticos por segmento em 2013.....	79
Gráfico 3: Consumo de estireno por cenário.....	127
Gráfico 4: Produtos substitutos ao estireno.....	128
Gráfico 5: Cenários de importação de estireno.....	129

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resultado das Buscas na Base EBSCO HOST .....	23
Quadro 2: Resultado das Buscas na Base Webofscience .....	23
Quadro 3: Critérios de caracterização de DSR .....	56
Quadro 4: Lista dos entrevistados.....	62
Quadro 5: Valores das incertezas aplicadas na simulação por cenários .....	118
Quadro 6: Dados de entrada eixo incerteza PIB .....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da capacidade instalada de estireno no Brasil.....	26
Tabela 2: Oferta x demanda.....	26
Tabela 3: Oferta x demanda global .....	27
Tabela 4: Cálculo erro médio, modelo x real.....	110

## LISTA DE SIGLAS

ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ABRAFATI	Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas
ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
DSR	<i>Design Science Research</i>
DYNAMO	<i>Dynamic Models</i>
EPS	Poliestireno expansível
ES	Estrutura Sistêmica
EUA	Estados Unidos da América
FUT	Fator de Utilização
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISDC	<i>Internacional System Dynamics Conference</i>
MDS	Modelo de Dinâmica de Sistemas
MIT	Instituto Tecnológico de Massachusetts
OASIS	<i>Organization for the Advancement of Structured Information Standards</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PS	Poliestireno
SBR	Estireno-butadieno
SIMPLE	<i>Simulation of Industrial Management Problems with Lot of Equations</i>
MAXQUIM	Sindicato das Indústrias Químicas
SM	Monômero de Estireno
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i>
XMILE	<i>Extensible Model Interchange Language</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA .....	19
1.2 OBJETIVOS .....	20
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>20</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>20</b>
1.3 JUSTIFICATIVAS .....	21
<b>1.3.1 Relevância do tema de pesquisa</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3.2 Relevância do setor estudado</b> .....	<b>24</b>
<b>1.3.3 Justificativa da abordagem proposta</b> .....	<b>28</b>
1.4 DELIMITAÇÕES.....	31
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	32
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>33</b>
2.1 A DINÂMICA DE SISTEMAS .....	33
<b>2.1.1 Histórico da dinâmica de sistemas</b> .....	<b>33</b>
<b>2.1.2 Base da dinâmica de sistemas</b> .....	<b>34</b>
<b>2.1.3 Características da dinâmica de sistema</b> .....	<b>35</b>
2.1.3.1 Conexões e enlaces .....	37
2.1.3.2 Controle de <i>feedback</i> .....	38
2.1.3.3 Atrasos .....	39
<b>2.1.4 O Pensamento sistêmico</b> .....	<b>40</b>
2.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	43
<b>2.2.1 Modelagem em dinâmica de sistemas</b> .....	<b>43</b>
2.2.1.1 Estoques e fluxos .....	44
<b>2.2.2 Software de dinâmica de sistemas iThink</b> .....	<b>46</b>
<b>2.2.3 Linguagem para intercâmbio de dinâmica de sistemas</b> .....	<b>47</b>
2.3 PLANEJAMENTO DE CENÁRIOS.....	49
2.4 CENÁRIOS E MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	50
<b>2.4.1 Cenários qualitativos</b> .....	<b>50</b>
<b>2.4.2 Cenários quantitativos</b> .....	<b>51</b>
2.5 APLICAÇÕES DA DINÂMICA DE SISTEMAS E CENÁRIOS .....	51
<b>3 MÉTODO</b> .....	<b>54</b>
3.1 MÉTODO CIENTÍFICO .....	54

3.2 MÉTODO DE PESQUISA .....	54
<b>3.2.1 Etapa de construção .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.2 Tipo de artefato .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.3 Justificativa para utilização do método.....</b>	<b>58</b>
3.3 MÉTODO DE TRABALHO .....	59
<b>3.3.1 Fase I: Conscientizar e sugerir .....</b>	<b>61</b>
<b>3.3.2 Fase II: Desenvolver o artefato de validação .....</b>	<b>64</b>
<b>3.3.3 Fase III: Desenvolver o artefato de visualização, avaliar e concluir .....</b>	<b>67</b>
<b>3.3.4 Fase IV: Desenvolver o artefato em XMILE, avaliar e concluir .....</b>	<b>69</b>
<b>4 CONSTRUÇÃO DO ARTEFATO PARA VISUALIZAÇÃO DE DEMANDA DE ESTIRENO .....</b>	<b>71</b>
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO MERCADO .....	71
<b>4.1.1 O mercado brasileiro de Estirênicos .....</b>	<b>71</b>
<b>4.1.2 Eletrodomésticos e eletrônicos .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1.3 Embalagens .....</b>	<b>74</b>
<b>4.1.4 Construção civil .....</b>	<b>75</b>
<b>4.1.5 Setor automotivo .....</b>	<b>75</b>
4.2 MATERIAIS SUBSTITUTOS DE RESINAS PETROQUÍMICAS .....	77
4.3 CONSTRUÇÃO DOS ARTEFATOS.....	81
<b>4.3.1 Desenvolvimento das entrevistas.....</b>	<b>81</b>
<b>4.3.2 Desenvolvendo a estrutura sistêmica .....</b>	<b>83</b>
4.3.2.1 Atividade de Coleta de Dados .....	83
4.3.2.2 Análise dos padrões de comportamento .....	84
4.3.2.3 Análise de correlação .....	85
4.3.2.4 Construção da estrutura sistêmica .....	86
<b>4.3.3 Construção do modelo de validação.....</b>	<b>95</b>
4.3.3.1 Diagrama de caminho .....	95
4.3.3.2 Regressão das variáveis explicativas do modelo de validação .....	98
4.3.3.3 Regressões dos derivados de estireno .....	101
4.3.3.4 Construção da regressão de demanda .....	103
4.3.3.5 Modelo computacional de validação.....	106
<b>4.3.4 Validação do modelo de validação .....</b>	<b>108</b>
4.3.4.1 Validação qualitativa.....	108
4.3.4.2 Validação quantitativa .....	109

4.3.5 Modelo computacional para visualização .....	111
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	112
<b>5. APLICAÇÃO DO ARTEFATO PARA VISUALIZAÇÃO DA DEMANDA DE ESTIRENO .....</b>	<b>113</b>
5.1 APLICAÇÃO DO ARTEFATO .....	113
<b>5.1.1 Construção dos cenários .....</b>	<b>113</b>
5.2 VISUALIZAÇÃO DOS CENÁRIOS COM USO DO ARTEFATO .....	119
<b>5.2.1 Cenário 1: “Poderia ser pior” .....</b>	<b>121</b>
<b>5.2.2 Cenário 2: “Crista da onda” .....</b>	<b>122</b>
<b>5.2.3 Cenário 3: “Fundo do Poço” .....</b>	<b>124</b>
<b>5.2.4 Cenário 4: “Sapo Escaldado” .....</b>	<b>125</b>
5.3 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS GERADOS PELO ARTEFATO .....	126
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	130
<b>6 AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS DE VISUALIZAÇÃO E XMILE .....</b>	<b>131</b>
6.1 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO DE VISUALIZAÇÃO E SÍNTESE DAS APRENDIZAGENS DOS ENTREVISTADOS.....	131
6.2 AVALIAÇÕES DO MODELO XMILE .....	135
<b>6.2.1 Diagramas de fluxo .....</b>	<b>135</b>
<b>6.2.2 Portabilidade do modelo XMILE.....</b>	<b>137</b>
6.2.2.1 Executando o modelo XMILE no Software STELLA.....	138
6.2.2.2 Utilizando o software Insight Maker como o modelo XMILE.....	141
6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO .....	146
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA PESQUISA .....</b>	<b>147</b>
7.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA .....	147
7.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	148
7.3 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	150
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>151</b>
<b>APÊNDICE I: PROTOCOLO ESTRATÉGIA DE BUSCA.....</b>	<b>159</b>
<b>APÊNDICE II: ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS .....</b>	<b>160</b>
<b>APÊNDICE III: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ESTATÍSTICOS DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO.....</b>	<b>161</b>
<b>APÊNDICE IV: RESULTADO DOS CENÁRIOS SIMULADOS.....</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE V – MODELO EM XML.....</b>	<b>168</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>174</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado competitivo e dinâmico exige que qualquer organização ou setor atue com excelência. Devido à concorrência acirrada, as empresas devem exigir retorno de receita crescente, de modo a manter suas políticas internas, na busca de melhores práticas de gestão que reflitam em ganho financeiro e bem-estar da organização.

A Cadeia Petroquímica, que abrange desde os produtores de derivados de petróleo até os transformadores de plásticos, é subdividida em três principais segmentos: empresas da primeira geração, fabricantes de insumos básicos; empresas da segunda geração, destinadas à fabricação de resinas, que são produtos intermediários e materiais para transformação; e empresas de terceira geração, que fabricam bens de consumo para empresas e/ou consumidor final. (CERQUEIRA; HEMAIS, 2001).

O mercado de estireno é bastante diversificado, incluindo diferentes tipos de derivados, cada um com uma ampla gama de aplicações em distintos setores do mercado. Diversos tipos de produtos, tais como estireno-butadieno (SBR), resinas acrílicas, poliéster, poliestireno expandido (EPS) e poliestireno (PS) são utilizados em amplas aplicações, incluindo a indústria automobilística, a construção civil, o setor de embalagens, de bens de consumo e outros. O crescimento das indústrias de aplicações para usuário final, como a automotiva e de construção civil, é tido como o principal fator que impulsiona o mercado de estireno. A indústria automotiva tem sido o principal consumidor de SBR, particularmente utilizado na fabricação de pneumáticos e de peças técnicas.

No que diz respeito aos termoplásticos, o mercado tem demonstrado uma tendência de mudança do panorama vigente até então. Nesse sentido, os consumidores de embalagens plásticas têm priorizado produtos de alta qualidade e sustentáveis, denominados produtos biodegradáveis, em detrimento a materiais de baixo custo. (GURUNATHAN et al., 2015). Esse processo, no longo prazo, trabalhará em favor dos transformadores, que tenderão a desenvolver produtos de qualidade superior com maior valor agregado, o que facilita o repasse de custos para o resto da cadeia produtiva. (PETROBRAS, 2013). Assim, entender e estar preparado para as mudanças na demanda futura é de suma importância às

organizações, tornando-se fator preponderante na sobrevivência ou falência de empresas. (HOPP; SPEARMAN, 2013).

De acordo com Slack et al. (2008), prover a capacidade produtiva para atender a demanda é responsabilidade da Administração da Produção. Um passo importante na previsão é conhecer as opções possíveis e os prazos necessários para adotá-las. Atualmente, existem duas abordagens para previsão e visualização de demanda, uma com base em métodos qualitativos e outra com base em métodos quantitativos. (SLACK et al., 2013).

Dentre os métodos quantitativos, a análise de séries temporais tem como base os dados do passado, sendo este o ponto fraco da abordagem, pois, ao observar o comportamento do passado para prever o futuro, ignora as rupturas existentes. Dentre os métodos qualitativos, tem-se empregado o planejamento de cenários, que é um método para lidar com situações de incerteza elevada, geralmente utilizado em previsões de longo prazo. O planejamento de cenários não está necessariamente preocupado em chegar a um consenso, a um valor final, mas em visualizar possíveis opções e elaborar planos. Assim, em vez de tentar evitar resultados que são menos desejáveis, procura tomar ações para alcançar metas mais esperadas. (CORNELIUS et al., 2005; SLACK et al., 2013).

O planejamento de cenários possibilita combinar dados quantitativos com qualitativos. Dessa forma, permite que os analistas consigam aliar diferentes técnicas na visualização de cenários e, assim, testar os modelos mentais dos tomadores de decisão. (CORNELIUS et al., 2005). A capacidade das pessoas de compreender o mundo complexo dos negócios pode ser melhorada por meio da visualização de cenários e de simulação. A ideia de simular futuros alternativos é fundamental para o planejamento estratégico da organização. A finalidade de modelar cenários e simulações é preparar organizações e indivíduos para futuros alternativos, trazendo esses futuros para a realidade em que são imaginados. (MORECROFT, 2015).

A modelagem computacional com base na dinâmica de sistemas ilustra as interdependências dentro do sistema atual. Segundo Senge et al. (1997), nunca existe uma única resposta para qualquer pergunta que se deseja modelar, ao contrário, a disciplina revela uma variedade de ações potenciais que podem ser adotadas, denominadas como cenários. (SENGE et al., 1997).

Nesse contexto, a presente dissertação visa a construir um artefato, que será um modelo computacional de dinâmica de sistemas. Esse artefato terá por finalidade o entendimento das ações dinâmicas ao longo do tempo no que tange à demanda do estireno no mercado brasileiro. O modelo permitirá testar opções factíveis em um micromundo, sem interferência no ambiente real. Essa facilidade permite o aprendizado dos gestores em diferentes cenários, seja em momentos de crise e/ou em momentos prósperos da economia.

No intuito de difundir a utilização da modelagem computacional e da dinâmica de sistemas, a pesquisa tem como objetivo secundário avaliar o uso da linguagem de computação XMILE (*Extensible Model Interchange Language*), em que os modelos são escritos na forma de XML com a intenção de proporcionar a portabilidade dos modelos de dinâmicas de sistemas.

A Utilização do XMILE como padrão vem sendo debatida e incentivada nos fóruns de dinâmica de sistemas organizados pela *Organization for the Advancement of Structured Information Standards* (OASIS) desde 2013. (EBERLEIN; CHICHAKLY, 2013). O XMILE destina-se a compartilhar os modelos de simulação e suas representações visuais de forma que sejam utilizáveis por qualquer software que suporte o formato. Com um formato padronizado, as análises não se limitam a um único pacote de software, de modo que os modelos podem ser compartilhados e analisados independentemente do software em que foram originalmente desenvolvidos.

## 1.1 PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

Atualmente, muitas empresas de estireno, inclusive as brasileiras, têm realizado as suas projeções de demanda e investimentos com base em relatórios<sup>1</sup>. No entanto, os relatórios têm como base dados do passado e presente, ou seja, têm como premissa que o futuro será como o passado e que o amanhã será como hoje. Logo, se mudanças significativas acontecerem em nível mundial, previsões erradas podem acabar acontecendo. (CORNELIUS et al., 2005).

Esforços significativos têm sido realizados para sofisticar as técnicas de previsões, e novas ferramentas como redes neurais, modelos econométricos e

---

<sup>1</sup> Disponível em: [http://www.researchandmarkets.com/research/dglqqk/styrene\\_2013](http://www.researchandmarkets.com/research/dglqqk/styrene_2013) Acesso em 26 de jul. de 2015.

outros poderosos softwares vêm sendo empregados. Apesar do progresso dessas técnicas, o sucesso é limitado especialmente em previsões de longos horizontes. (CORNELIUS et al., 2005).

Sendo assim, estar preparado para diferentes cenários é de suma importância e, no mercado de estireno essa atitude é particularmente relevante, haja vista que o estireno está presente em uma gama de produtos básicos utilizados no dia a dia dos consumidores, seja em embalagens de alimentos, utensílios domésticos, construção civil ou veículos. Diante disso, esta pesquisa pretende responder à seguinte questão:

**Como visualizar a demanda de estireno no mercado brasileiro e gerar aprendizagem para os tomadores de decisão no âmbito estratégico tendo em vista os possíveis cenários futuros?**

## 1.2 OBJETIVOS

Esta seção apresenta o objetivo geral desta dissertação, bem como os objetivos específicos a serem atingidos ao longo da pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral de estudo é construir um modelo de dinâmica de sistemas que ajude a visualizar a demanda futura de estireno no mercado brasileiro, com o auxílio do pensamento sistêmico, da dinâmica de sistemas e do planejamento de cenários.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa subdividem-se em:

- a) Construir e simular distintos cenários futuros para o mercado de estireno no âmbito nacional;

- b) Avaliar o modelo desenvolvido em termos de funcionalidade e praticidade para a geração de aprendizagem estratégica;
- c) Avaliar a utilização do modelo por meio do padrão de compartilhamento de modelos de dinâmica de sistemas XMILE.

### 1.3 JUSTIFICATIVAS

A justificativa para o presente estudo apresenta-se contextualizada sob três perspectivas: do meio acadêmico científico, da indústria de estireno e da abordagem proposta no trabalho. Do ponto de vista acadêmico-científico, evidencia-se encontrar lacunas nos métodos tradicionais de previsão de demanda e desenvolver novos conhecimentos científicos. Já a segunda perspectiva tem o propósito de apresentar a importância do setor na economia Brasileira e a necessidade de entendê-lo tendo em vista futuras tomadas de decisão. A terceira perspectiva é focada na abordagem empregada no trabalho, e visa a atingir os objetivos propostos.

#### 1.3.1 Relevância do tema de pesquisa

No que diz respeito à relevância, a pesquisa deve trazer conhecimentos novos. (MARCONI; LAKATOS, 2010). Ainda conforme Marconi e Lakatos (2011), a relevância pode ser definida como a capacidade de explicar o problema e de esclarecer os fatos que uma hipótese levanta. A finalidade da relevância é permitir dizer sem ambiguidades o que é comunicado. É comumente aceito que a relevância é uma relação entre duas entidades de dois grupos, que são: (i) documentos, entidades físicas que o pesquisador vai obter depois da busca realizada; (ii) informações, dados que o pesquisador recebe quando realiza a leitura de um documento. (MIZZARO, 1997).

Apresentadas as questões sobre o conceito de relevância, expõem-se, a seguir, os critérios que foram considerados para definir a relevância desta pesquisa: i) o tema deve estar sendo abordado pela comunidade acadêmica na qual está inserido; ii) os trabalhos publicados devem exibir lacunas que possam ser pelo menos parcialmente atendidas por esta pesquisa; iii) não devem ter sido

encontrados trabalhos que respondam adequadamente à questão de pesquisa aqui definida.

Com o intuito de verificar o atendimento dos critérios definidos, adotou-se o procedimento de revisão sistemática de literatura (Apêndice I) sugerido por Morandi e Camargo (2015). Inicialmente, foram pesquisados os termos de busca em inglês nas bases EBSCO HOST e WEBOFSCIENCE, porém, no transcorrer da pesquisa, ampliou-se a consulta para os termos em português e estendeu-se a busca às demais bases sugeridas pelos autores.

A base EBSCO HOST foi acessada a partir do site da biblioteca da UNISINOS<sup>2</sup>, com a seleção da opção acessar a base de dados por meio do Portal CAPES. Como a base EBSCO HOST reúne uma vasta base de dados, foram selecionadas aquelas que, pela descrição disponível, pareceram ser as mais prováveis de retornar estudos elementares e de interesse. As bases selecionadas foram:

- a) **Academic Search Complete:** projetado para instituições acadêmicas, esse banco de dados fornece uma cobertura completa dos periódicos acadêmicos multidisciplinares. Ele apoia a investigação de alto nível nas áreas-chave de estudo acadêmico, oferecendo revistas e jornais, periódicos em texto completo, relatórios, livros e muito mais;
- b) **Business Source Complete:** apresenta conteúdo premium, fontes *peer-reviewed* (revisões por pares) e revistas de negócios relacionados. Oferece cobertura abrangente de texto completo acrescido de indexação e resumos das mais importantes revistas de negócios acadêmicos, datadas desde 1886;
- c) **Academic Search Premier:** é um vasto banco de dados interdisciplinar, que abrange uma ampla gama de assuntos. Inclui um conjunto de artigos acadêmicos e publicações populares;
- d) **Academic Search Elite:** base de dados que contém textos completos de um conjunto de mais de 2.100 revistas especializadas.

A busca na base EBSCO HOST foi realizada sem a inserção de limite temporal, o que resultou em 439 artigos. A partir da leitura dos títulos, identificou-se

---

<sup>2</sup> Disponível em: [http://www.unisinos.br/biblioteca/index.php?option=com\\_content&task=view&id=142&Itemid=223&menu\\_ativo=active\\_menu\\_sub&marcador=223](http://www.unisinos.br/biblioteca/index.php?option=com_content&task=view&id=142&Itemid=223&menu_ativo=active_menu_sub&marcador=223)

o alinhamento com o tema pesquisado. Do total de artigos encontrados, 414 foram excluídos por não se enquadrarem nos critérios de inclusão predefinidos, dentre os quais se destacam estudos realizados na área de previsão climática e demais técnicas não abordadas nesta pesquisa. Quanto aos 25 estudos restantes, procedeu-se a leitura dos resumos a fim de identificar o enquadramento na temática estudada. Dos resumos lidos restaram 12 artigos, que foram lidos integralmente, dos quais 8 são alinhados ao tema em estudo. O quadro 1 apresenta esses resultados de forma resumida.

Quadro 1: Resultado das Buscas na Base EBSCO HOST

EBSCO					
Temas de Busca	Índice de busca	Localizados	Abstracts lidos	Artigos selecionados	Artigos lidos
"DYNAMIC SYSTEMS" AND FORECASTING	Abstract	3	2	2	2
"DYNAMIC SYSTEMS" AND PREDICTION	Abstract	8	3	1	1
"DYNAMIC SYSTEMS" AND "DEMAND VISUALIZATION"	Abstract	0	0	0	0
"SYSTEMS THINKING" AND FORECASTING	Abstract	2	1	0	0
FORECASTING AND STYRENE	Abstract	5	3	0	0
FORECASTING AND PETROCHEMICAL	Abstract	74	5	1	1
DEMAND FORECAST MODELS	Abstract	284	9	7	3
PLANNING SCENARIOS AND DYNAMIC SYSTEMS	Abstract	63	2	1	1
TOTAL		439	25	12	8

Fonte: Elaborado pelo autor.

A busca na base de dados Webofscience seguiu o mesmo princípio, sem utilização de limite temporal. No total foram encontrados 2227 artigos, dos quais foram eliminados 2156. Os resumos dos trabalhos restantes foram lidos e, dentre eles, foram selecionados 15 artigos, dos quais 6 foram lidos na íntegra, conforme mostrado resumidamente no quadro 2.

Quadro 2: Resultado das Buscas na Base Webofscience

WEBOFSCIENCE					
Temas de Busca	Índice de busca	Localizados	Abstracts lidos	Artigos selecionados	Artigos lidos
"SYSTEMS DYNAMICS" AND FORECASTING	Abstract	11	5	3	3
"DYNAMIC SYSTEMS" AND PREDICTION	Abstract	646	15	1	0
"DYNAMIC SYSTEMS" AND "DEMAND VISUALIZATION"	Abstract	0	0	0	0
"SYSTEMS THINKING" AND FORECASTING	Abstract	20	1	0	0
FORECASTING AND STYRENE	Abstract	13	0	0	0
FORECASTING AND PETROCHEMICAL	Abstract	102	3	1	1
TECHNICAL FORECAST	Abstract	8	2	2	0
PLANNING SCENARIOS AND DYNAMIC SYSTEMS	Abstract	1427	45	8	2
TOTAL		2227	71	15	6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos artigos lidos, verifica-se que é consenso de diversos autores que os modelos tradicionais de previsão apresentam lacunas que impossibilitam previsões confiáveis. (LYNEIS, 2000; SURYANI et al., 2010a; GORR et al., 2011; CHAI et al., 2012; GREINER et al., 2014; GEUM; LEE; PARK, 2014; MORANDI et al., 2014).

O estudo realizado por Greiner et al. (2014) propôs a construção de um modelo com o propósito de gerar cenários para o entendimento e aprendizagem da demanda por produtos do setor agropastoril. Com a utilização do modelo, foi possível entender a indústria agropastoril, mesmo sendo ela um sistema econômico-ecológico complexo. Além disso, foi possível aprofundar os conhecimentos nas principais características do segmento, verificando as oportunidades emergentes e as incertezas e desafios do futuro. A aplicação da dinâmica de sistemas auxiliou a indústria a chegar a um consenso sobre o futuro preferido e a desenvolver um conjunto claro de estratégias para os cenários futuros.

Já o trabalho realizado por Chai et al. (2012) elaborou previsões sobre o consumo de derivados de petróleo na China. Nesse caso, é possível verificar a necessidade de um modelo mais robusto, já que o modelo utilizado na previsão de demanda por gasolina e diesel não avalia grandes mudanças e assume que o futuro será como o passado.

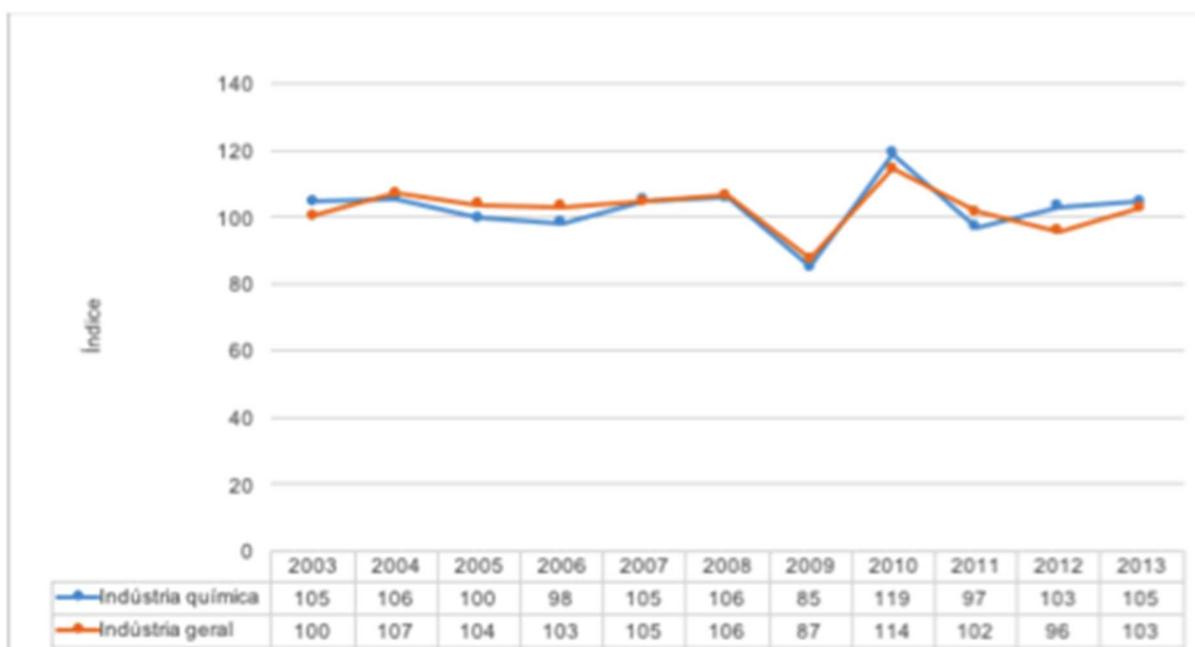
Nos estudos analisados, percebe-se que a utilização de cenários ainda não é consenso entre alguns pesquisadores. Gorr et al. (2011) postula sobre o assunto afirmando que muitos modelos são suficiente para as condições comuns, mas acabam sendo desafiados pelas demandas excepcionais, tais como grandes rupturas e incertezas. No entanto, alguns estudos que utilizaram cenários trazem como ponto forte a integração de cenários com a visualização e/ou previsão de demanda. Os que não utilizaram cenários, por fim, recomendam o uso como mecanismo de melhoria nos resultados.

### **1.3.2 Relevância do setor estudado**

Um fator a ser salientado é a importância da indústria química para a economia Brasileira. Segundo dados do IBGE (2015), a indústria química

representou 2,8% do PIB e 10,5% da indústria de transformação no ano de 2013. No que tange ao índice de produção física, é possível verificar, no Gráfico 1, que a produção da indústria química tem acompanhado o índice geral de produção ao longo do período, inclusive no ano de 2009, quando ocorreu forte recessão no mercado.

Gráfico 1: Índice de produção física industrial



Fonte: SIDRA-IBGE (2015).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2013), a balança comercial da Indústria Química Brasileira, no ano de 2012, apresentou um déficit de US\$26,7 bilhões. O mercado brasileiro de estireno tem se mostrado deficitário ao longo dos anos, contribuindo para o elevado desequilíbrio da balança comercial da Indústria Química. Tal cenário se desenha em decorrência das incertezas entre a oferta e demanda, haja vista que uma das principais características da indústria petroquímica é a intensidade em capital e em tecnologia para a instalação de novas unidades produtivas. (CAVALCANTE; TEIXEIRA, 2014).

Existem atualmente, no Brasil, apenas duas empresas produtoras de estireno, a Unigel e a Innova. O Grupo Unigel adquiriu as unidades de etilbenzeno e estireno da Dow, em Camaçari (BA), em 2008. Atualmente, a Unigel possui 53% e a Innova 47% da capacidade produtiva total do mercado Brasileiro. Além do estireno, a Innova produz etilbenzeno e poliestireno de forma integrada em seu site em Triunfo

(RS). A tabela 1 mostra a evolução da capacidade de produção de estireno no Brasil ao longo dos últimos sete anos. Verifica-se que ela permanece constante no decorrer do período. (MAXIQUIM, 2014).

Tabela 1: Evolução da capacidade instalada de estireno no Brasil

		CAPACIDADE INSTALADA DE ESTIRENO NO BRASIL (mil toneladas anuais)						
Players	Localização	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014*
Cbe	Cubatão, SP	120	120	120				
Unigel	Camaçari, BA	160	160	160	160	160	160	160
Unigel	Cubatão, SP				120	120	120	120
Innova	Triunfo, RS	250	250	250	250	250	250	250
Total		530	530	530	530	530	530	530

\* Previsão

Fonte: Maxiquim (2014).

O *gap* entre oferta e demanda de estireno tem permanecido ao longo do período analisado, e a necessidade de importação apresentou variação nos seis anos avaliados, conforme pode ser visto na tabela 2. A importação pode ser considerada como um complicador, pois envolve estruturas logísticas e eleva os custos operacionais. O déficit na capacidade também abre possibilidade para novos entrantes no mercado e, com isso, aumenta a concorrência entre os produtores de estireno, com conseqüente diminuição do *Market Share* das empresas.

Tabela 2: Oferta x demanda

BALANÇO OFERTA E DEMANDA DE ESTIRENO NO BRASIL (mil toneladas anuais)						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Capacidade instalada	530	540	540	540	540	540
Produção	320	460	370	410	410	340
Importação	240	130	210	220	240	220
Exportação	0	70	0	0	0	0
Demanda total	560	660	580	630	650	560
Gap capacidade x demanda	30	120	40	90	110	20

Fonte: Maxiquim (2014).

A necessidade de importação pelo mercado Brasileiro tem se mostrado constante, apesar de a produção estar abaixo da capacidade instalada. Isso se explica pelo fato de um expressivo consumidor de estireno estar localizado na Zona

Franca de Manaus, local em que recebe isenções fiscais e em que há facilidade de importação, principalmente do mercado Norte Americano. As questões logísticas também são fatores contribuintes para uma alta importação do produto.

A tabela 3 exhibe o panorama global entre oferta e demanda de estireno. Pode-se observar que a oferta global, ao contrário da brasileira, tem se mantido equilibrada, com pouca variação ao longo do período analisado.

Tabela 3: Oferta x demanda global

BALANÇO OFERTA E DEMANDA DE ESTIRENO GLOBAL (milhões toneladas anuais)						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Capacidade instalada	30	30	32	32	33	34
Demanda	24	24	26	26	27	28

Fonte: Maxiquim (2014).

Jacobs e Chase (2012) dividem o processo de oferta e demanda em estável e evolutivo. O processo de oferta estável é aquele em que a manufatura e sua estrutura tecnológica são maduras, e a base da oferta e demanda é estável. Já o processo de oferta e demanda evolutivo é aquele em que a manufatura e a estrutura estão em fase de desenvolvimento e de mudança constante.

Nesse contexto, a indústria petroquímica, mais precisamente a de estireno, pode ser situada na dimensão de processo de oferta e demanda evolutivo, tanto no que tange ao fornecimento de matérias-primas de primeira geração quanto ao fornecimento para a indústria de terceira geração. O processo de evolução é mais significativo nas indústrias de terceira geração, onde há evolução de novas tecnologias e desenvolvimento de novos produtos, gerando incertezas na demanda e oferta. (BASTOS, 2003). Segundo Cavalcante e Teixeira (2014), questões referentes à economia local e global são fatores relevantes para a decisão de investimento na indústria petroquímica. Sendo assim, criar mecanismos para estar preparado e para entender as incertezas, tanto no nível de demanda quanto no econômico, é necessário para o desenvolvimento do setor.

A crise internacional em meados do mês de outubro de 2008 fez com que o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil tivesse queda de mais de 4% entre o último trimestre do ano de 2008 e o primeiro semestre de 2009. Nesse mesmo período, segundo os especialistas, era previsto um crescimento da economia Brasileira de

3%. (POCHMANN, 2009). Segundo Hopp e Spearman (2013), não existe modelo de previsão perfeito, e os autores ainda sugerem, de forma simplificada, as seguintes leis das previsões:

- a) as previsões são sempre erradas;
- b) as previsões detalhadas são piores do que as agregadas;
- c) quanto mais avançam para o futuro, menos confiáveis são as previsões.

Nessa perspectiva, o presente trabalho propõe a utilização de uma abordagem diferenciada para auxiliar os tomadores de decisão no entendimento da dinâmica do mercado de estireno.

### **1.3.3 Justificativa da abordagem proposta**

Para lidar com os problemas de previsão, a *Royal Dutch Shell Group* tem utilizado a análise de cenários, um método que a organização em questão introduziu há mais de 30 anos, pelo qual os cenários não são projeções, previsões ou preferências, mas histórias alternativas coerentes e credíveis sobre o futuro. (CORNELIUS et al., 2005). Para Cornelius et al. (2005), cenários possuem múltiplas funções. Em primeiro lugar, eles auxiliam na concepção e seleção de estratégias, uma vez que uma única estratégia pode ser melhor em cada cenário e nos critérios de seleção especiais, tais como “aposta no mais provável cenário” ou “preservar a flexibilidade onde é mais necessário”.

Em 2013, a Shell apresentou seu relatório de 40 anos de cenários e citou como uma grande contribuição dos cenários o auxílio em escolhas cruciais em tempos de incertezas e em ambientes de grande resistência. Ainda segundo a Shell, cenários são como lentes para fazer julgamentos de forma mais clara e com maior sensibilidade. (THE SHELL SCENARIO TEAM, 2013). Os cenários são baseados no entendimento de que as escolhas realizadas para o futuro alternativo, tanto quanto as incertezas na mudança econômica, política e social, são difíceis de serem previstas pelos métodos tradicionais. Assim, os cenários são utilizados para decidir investimento em ambientes de negócios cada vez mais incertos e ajudar a fechar

lacunas de planejamentos estratégicos quando os métodos tradicionais não possuem robustez suficiente e satisfatória. (CORNELIUS et al., 2005).

A dinâmica de sistemas e o planejamento de cenários se complementam, nesse sentido, pois podem representar o efeito da alteração de diferentes variáveis no mesmo instante. Desse modo, simulam uma combinação de fatores que se aproximam da realidade e funcionam como um sistema vivo. Isso significa que, conforme as mudanças acontecem no ambiente, é possível atualizar as relações entre os fatores que representam a dinâmica existente entre si. (ANDRADE et al., 2006).

A dinâmica de sistemas é uma metodologia que tem por objetivo mapear as inter-relações existentes nos sistemas complexos. Para isso, faz uso de modelos de simulação. A simulação é um objeto transicional para melhorar a compreensão por meio de testes e reflexões. (MORECROFT, 2015). A simulação ainda possibilita o entendimento do sistema ao longo do tempo. Ela busca elucidar comportamentos recorrentes dos sistemas tendo como ponto de partida os padrões de comportamento. (BASTOS, 2003). Sterman (2000, p. 655) argumenta que “a finalidade de modelagem é não antecipar e reagir a problemas no ambiente, mas eliminar os problemas alterando a estrutura subjacente do sistema”. A simulação de dinâmica de sistemas tem como um grande diferencial a possibilidade de testar cenários factíveis. Esses cenários podem ser desde a ampliação do consumo de determinado produto até um período de recessão econômica e/ou uma crise financeira. (MORECROFT, 2015).

A modelagem da dinâmica de sistemas é um instrumento de apoio para o entendimento dos modelos mentais dos envolvidos em determinado estudo, facilitando a comunicação entre as partes, já que é extremamente difícil expressar o pensamento em palavras. A dinâmica de sistemas colabora nesse quesito, pois permite testar e explicitar de forma simplificada as ações no tempo e no espaço. (STERMAN, 2000; MORECROFT, 2015).

Morandi (2008) e Mörschbacher (2009) utilizaram o método PSPC para gerar aprendizagem no entendimento da dinâmica de formação de preços de minério de ferro e na estimativa de exportação de frangos. Suryani et al. (2010a) utilizaram a dinâmica de sistemas na previsão de demanda de cimento, com um enfoque principal na construção civil e no PIB.

No trabalho de Morandi (2008), a intenção de entendimento da precificação possui saídas estratégicas diferentes da demanda. Pode-se afirmar que o minério de ferro, o material abordado, sofre grande impacto do mercado externo, pois apesar de o Brasil ser um grande produtor, ainda não ocupa uma posição de destaque na transformação, ou seja, na produção de aço<sup>3</sup>. Na pesquisa de Mörschbacher (2009), que tem como objetivo principal a visualização de exportações de frango, as principais variáveis explicativas ficaram por conta de barreiras sanitárias existentes entre diferentes países e do PIB mundial e nacional. Na pesquisa de Suryani et al. (2010a), apenas duas variáveis foram tidas como fundamentais: construção civil e o PIB.

A questão de visualização de demanda traz saídas estratégicas importantes para a organização: quanto produzir, quando produzir, onde produzir e quanto investir. Em ambientes incertos da economia, a tecnologia de produção passa a ser uma questão estratégica de suma importância. (SURYANI et al., 2010a). Outro diferencial deste trabalho é a utilização do padrão XMILE, um padrão aberto que possibilita a portabilidade dos modelos de dinâmica de sistemas sem a necessidade de utilizar um software específico.

Conforme Eberlein e Chichakly (2013), há razões práticas para se querer um padrão como o XMILE, que representa modelos de dinâmica de sistemas. Segundo os autores, a chave está na portabilidade. A portabilidade auxilia na replicação, que é uma parte fundamental do método científico. A partir de um formato aceito para os modelos, qualquer pesquisador pode replicar o modelo, fazendo mínimos ajustes conforme a realidade modelada. Independentemente do software que esteja sendo usado, a replicação é facilitada. A criação de modelos que podem ser usados com qualquer software que suporte a dinâmica do sistema colabora para que um público maior seja abrangido no que tange à utilização da dinâmica de sistemas. (DIKER; ALLEN, 2005).

Sendo assim, há evidências potenciais de que a dinâmica de sistemas pode ocupar um lugar de destaque no que diz respeito à visualização da demanda e ao planejamento de cenários. Com o objetivo de atingir não apenas a indústria, mas também de alcançar credibilidade científica, ter uma linguagem padrão aberta para a

---

<sup>3</sup> Disponível em: [http://www.acobrasil.org.br/site/arquivos/estatisticas/Preliminar\\_Julho2015.pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/arquivos/estatisticas/Preliminar_Julho2015.pdf). Acesso em: 01 de ago. de 2015.

dinâmica de sistemas contribui para aumentar a visibilidade e a aceitação da dinâmica de sistemas dentro da comunidade acadêmica.

#### 1.4 DELIMITAÇÕES

Esta dissertação tem como propósito aplicar a Dinâmica de Sistemas para visualização da demanda de estireno. Desse modo, a presente seção delimita o foco de intervenção da pesquisa.

Uma das primeiras delimitações diz respeito às pessoas que contribuíram para o desenvolvimento do trabalho. É relevante destacar que a pesquisa foi realizada nos setores de marketing, inteligência de mercado, diretoria corporativa e área comercial de uma grande empresa do ramo petroquímico. Nesse contexto, a experiência dos participantes representa a visão sob o ponto de vista do setor em que a empresa está inserida.

A respeito da aplicação, o método não tem a pretensão de fornecer predição de futuro, mas sim de gerar aprendizado para os envolvidos e de servir como uma ferramenta para testar cenários factíveis que contribuam para o planejamento estratégico e para ações de marketing da empresa.

Outra delimitação se refere ao software a ser utilizado para a modelagem do problema. Ainda que existam diversos aplicativos disponíveis no mercado, nesta dissertação será utilizado o *Ithink*, da desenvolvedora *Isee System Inc*.

Um aspecto importante é o fato de que a pesquisa é realizada em uma empresa específica do setor petroquímico no mercado de estireno, representando, pois, a visão das pessoas de um determinado contexto. Isso significa que a mesma pesquisa pode produzir resultados diferentes caso seja aplicada a outras empresas de diferentes setores.

O método proposto ambiciona criar mecanismos em que seja possível representar as variáveis que impactam a demanda brasileira de estireno, servindo como artefato para visualizações de cenários futuros. Vale lembrar que o objetivo fundamental não é a simulação precisa do comportamento da demanda de estireno, mas a possibilidade de avaliar os padrões de comportamento do sistema objetivando o melhoramento dos modelos mentais compartilhados pelos tomadores de decisão. Em uma das primeiras publicações no campo da dinâmica de sistemas Forrester

argumentou que “um modelo de dinâmica de sistemas deve ser usado para determinar o comportamento de um sistema, mas não o seu estado específico”. (FORRESTER, 1961, p. 436, apud LYNEIS, 2000).

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos, que são brevemente descritos nesta seção. Inicialmente, o Capítulo 1 faz uma abordagem introdutória da temática a ser estudada, contextualizando a pesquisa e apresentando as justificativas. Ademais, apresenta a questão de pesquisa, os objetivos da dissertação, a delimitação do estudo, e faz um apanhado geral da estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 contextualiza o referencial teórico utilizado para embasar a pesquisa. Para tanto, contempla a revisão bibliográfica e a interligação entre os temas abordados, gerando o alicerce teórico que é empregado para dar sequência ao desenvolvimento temático. Assim, a seção em questão aborda especialmente a dinâmica de sistemas, o pensamento sistêmico e o planejamento de cenários.

O Capítulo 3 destina-se a apresentar o método empregado para a realização do trabalho. Adicionalmente, contextualiza o roteiro de atividades que são desenvolvidas.

O Capítulo 4 reserva-se à construção do artefato e, portanto, contempla uma descrição detalhada dos passos que são desenvolvidos para alcançar essa finalidade.

O Capítulo 5, por sua vez, aborda a utilização do artefato. Nessa seção, é possível verificar a aplicação do artefato no planejamento de cenários.

No Capítulo 6, são realizadas as avaliações do artefato construído, tanto do padrão XMILE quando da utilização do modelo, com o objetivo de gerar aprendizagem aos tomadores de decisão.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta as considerações finais do estudo, de modo a sintetizar os resultados obtidos e a recomendar trabalhos futuros. A seção também procura discutir os principais aspectos limitadores da dissertação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordadas as principais bases de referência para o atingimento dos objetivos propostos nesta dissertação. Serão contextualizadas as temáticas dinâmica de sistemas, planejamento por cenários e modelagem computacional. Tais bases conceituais são de suma importância para nortear a trilha do desenvolvimento do presente trabalho.

### 2.1 A DINÂMICA DE SISTEMAS

A Dinâmica de Sistemas conta com uma vasta e complexa abrangência, com diversas linhas desenvolvidas que derivaram dos estudos de Jay W. Forrester. Neste subcapítulo são apresentadas as características basilares encontradas na dinâmica de sistemas, sua origem, a teoria da simulação e os procedimentos de modelagem existentes.

Como todos os sistemas, o sistema complexo é uma estrutura interligada de loops de *feedback*. Esta estrutura de laço envolve todas as decisões públicas ou privadas, conscientes ou inconscientes. Os processos do homem e da natureza, da psicologia e da física, da medicina e da engenharia todos caem dentro dessa estrutura. (FORRESTER, 1968, p. 107).

#### 2.1.1 Histórico da dinâmica de sistemas

O método utilizado em dinâmica de sistemas foi desenvolvido no decorrer do século XX pelo professor Jay W. Forrester do Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Forrester fez uso das técnicas de ciências e engenharia para avaliar a utilização de sistemas de realimentação em processos administrativos, com o objetivo de achar os motivos do fracasso de algumas organizações. (STERMAN, 2000). As aplicações das ideias de Forrester ganharam força quando empresas de grande porte dos Estados Unidos passaram a utilizar a metodologia para solucionar problemas como instabilidade de mão de obra da fábrica de Kentucky, situação que não se conseguia explicar de forma tradicional.

Em meados de 1950 e 1960, formaram-se inúmeros estudantes no campo da dinâmica de sistemas. No mesmo período também foi desenvolvida a linguagem

precursora para simulação dinâmica, intitulada de SIMPLE (*Simulation of Industrial Management Problems with Lot of Equations*), conduzida por Richard Bennett em 1958. (STERMAN, 2000).

Em 1959 foi desenvolvido um enriquecimento do SIMPLE, o DYNAMO (*Dynamic Models*), criado por Phyllis Fox e Alexander Pugh, que se tornou a linguagem padrão dos 30 anos seguintes. Forrester fortaleceu seu interesse pela dinâmica de sistemas em problemas sociais e econômicos de maior complexidade, publicando sua terceira obra, o “*World Dynamics*”. (FORRESTER, 1971).

O interesse na aplicação da dinâmica de sistemas tem crescido de forma expressiva devido à capacidade única dessa ferramenta de representar o mundo real. Por sua vez, ainda são aceitas as estruturas de complexidade, de não linearidade e de ciclo de *feedback*, que são inerentes a sistemas sociais e físicos.

### **2.1.2 Base da dinâmica de sistemas**

O conhecimento base da Dinâmica de Sistemas originou-se principalmente dos conceitos de realimentação e da teoria dos servomecanismos (sistema de controle em que o dado de saída é de ordem mecânica), originários da cibernética e da engenharia. (CAPRA; LUISI, 2014).

Quando Ludwig von Bertalanffy trabalhava na sua teoria geral dos sistemas, tentativas de criar máquinas de autoguiamento e autorreguladoras levaram a um campo de pesquisa totalmente novo, que teria um enorme impacto sobre o desenvolvimento posterior da visão sistêmica da vida. (CAPRA; LUISI, 2014). Recorrendo a várias disciplinas, a nova ciência representou uma abordagem unificada de problemas de comunicação e controle, envolvendo todo um complexo de ideias novas, que inspiraram Norbert Wiener (1894-1964) a inventar um nome especial para ela: “cibernética”. A palavra deriva do grego *kybernetes* (“piloto”), e Wiener (1948) a definiu como a ciência do “controle e da comunicação no animal e na máquina”. (CAPRA; LUISI, 2014).

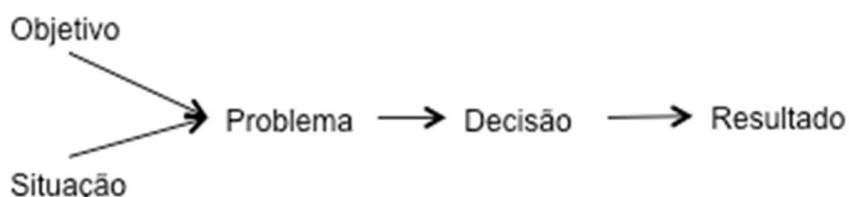
A cibernética logo viraria um intenso movimento intelectual, que se ampliou independentemente da biologia orgânica e da teoria geral dos sistemas. Os ciberneticistas não eram nem biólogos nem ecologistas. Eram matemáticos, neurocientistas, cientistas sociais e engenheiros. Estavam preocupados com um

diferente nível de descrição, concentrando-se em padrões de comunicação, especialmente em ciclos (*loops*) fechados e redes. Seus estudos levaram aos conceitos de *feedback* e autorregulação, e então, mais tarde, ao de auto-organização. (CAPRA; LUISI, 2014).

### 2.1.3 Características da dinâmica de sistema

A visão de mundo orientada ao evento leva a uma abordagem orientada ao evento na resolução de problemas. A Figura 1 mostra como, muitas vezes, tenta-se resolver os problemas. Avalia-se a situação do indicador e compara-se com os objetivos. A diferença entre o objetivo que se deseja e a situação que se percebe define o problema. A diferença entre o objetivo que se deseja e a situação que se percebe define o problema.

Figura 1: Visão orientada a eventos



Fonte: Adaptado de Sterman (2000).

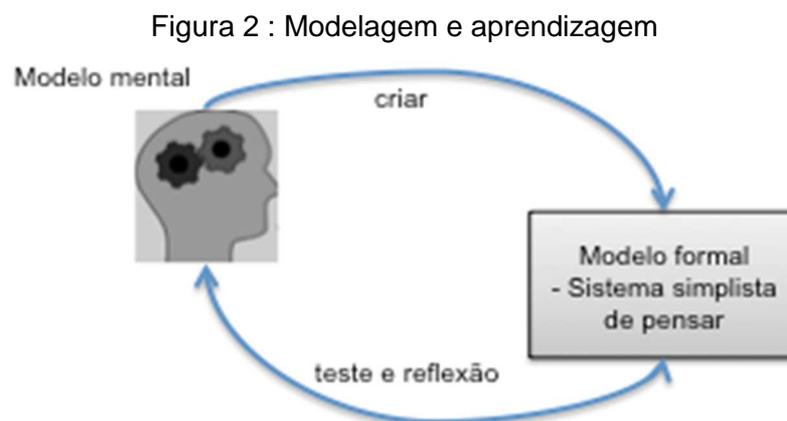
O conceito fundamental da dinâmica de sistemas está em compreender como os objetos de um sistema interagem entre si, pois tanto os objetos quanto as pessoas, em um sistema, interagem por meio de laços de realimentação, sendo que a alteração em uma variável afeta diferentes variáveis. Ao longo do tempo, essas alterações, por sua vez, modificam a variável original e, assim, continuamente. (SDEP, 2014).

Nota-se, em sistemas complexos, a existência de nós e malhas de realimentação que disfarçam a clássica análise de eventos, sistemas estes que são alterados pela simples ótica de causa e efeito. A dinâmica de sistemas sugere uma “diferente forma” de avaliar e entender os sistemas complexos que surgem no mundo real, seja nas organizações sociais, nos desempenhos singulares ou nos fenômenos físicos que, ao serem estimulados, reagem de forma muito mais complexa do que uma simples resposta. (SDEP, 2014).

A dinâmica de sistemas é um método em que sistemas não lineares, dinâmicos e complexos podem ser compreendidos e avaliados por meio de interações. Além do mais, novas políticas e estruturas podem ser redesenhadas para aperfeiçoar o desempenho do sistema. (MOHAPATRA et al. 1994 apud SANNINO; HAMACHER, 2006).

As ferramentas de dinâmica de sistemas podem ser usadas de diversas maneiras. A abordagem subjacente prevê uma forma de visualizar sistemas humanos ao destacar a importância de algumas características estruturais, tais como o controle de *feedback*. Se os seres humanos são analisados dessa forma, então Wolstenholme (1990 apud PIDD, 1998) argumenta que é impossível prover *insights* úteis a respeito da sua operação sem o recurso de software de computador. O segundo modo de operação, contudo, é usar essas características estruturais para desenvolver um modelo de simulação dos sistemas.

O modelo de computador também pode ser usado para compreender por que os seres humanos se comportam de determinada maneira. Finalmente, os modelos de simulação podem ser utilizados para encontrar melhores formas de operar os sistemas ao demonstrar suas consequências. Em todos esses casos, a ideia é usar os modelos de dinâmica de sistemas como instrumento de pensamento. Embora os modelos mentais humanos sejam escondidos, os modelos de dinâmica de sistemas são explícitos, como mostra a Figura 2. (PIDD, 1998).



Fonte: Adaptado de Pidd (2003, p. 103).

Em teoria, os modelos de computador oferecem melhorias em relação aos modelos mentais em vários aspectos: são explícitos; seus pressupostos são demonstrados nos resultados; são abertos a todos para visualização, entendimento

e revisão; calculam as consequências lógicas de premissas do modelador, são abrangentes e capazes de inter-relacionar diversos fatores simultaneamente.

Grande parte da arte da modelagem dinâmica de sistemas é descobrir e representar os processos de *feedback*, o que, junto com estoque e fluxo de estruturas, atrasos de tempo e não linearidades, determina a dinâmica de um sistema. Existe uma imensa gama de diferentes processos de *feedback* e de outras estruturas que devem ser entendidas antes que se possa compreender a dinâmica de sistemas complexos. Na verdade, os comportamentos mais complexos geralmente surgem das interações entre os componentes do sistema e não a partir da complexidade dos próprios componentes. (STERMAN, 2000).

Toda dinâmica surge a partir da interação de apenas dois tipos de *loops* de *feedback*: positivo (ou de autorreforço) e negativo (ou de autocorreção). Ciclos positivos tendem a reforçar ou ampliar o que está acontecendo no sistema. Se uma empresa reduz preço para ganhar participação de mercado, os concorrentes podem responder na mesma moeda, forçando a organização a baixar o preço ainda mais. Os laços positivos são todos os processos que geram crescimento.

Laços negativos neutralizam-se e se opõem à mudança. A menor quantidade de nicotina em um cigarro leva os fumantes a consumir mais para obter a dose de que precisam. Esses laços descrevem os processos que tendem a ser autolimitados, de modo a buscar balanço e equilíbrio. (STERMAN, 2000).

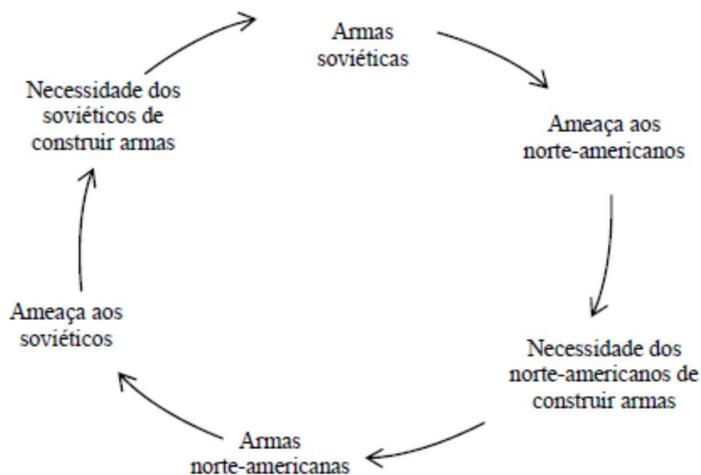
#### 2.1.3.1 Conexões e enlaces

Segundo Senge (2009), a chave para interpretar a realidade sistemicamente é enxergar círculos de influência e não linhas retas. Esse se torna o passo inicial para romper com a mentalidade reativa que acompanha, inevitavelmente, o pensamento “linear”.

As conexões nunca estão separadas, continuamente contém um círculo de causalidade, um “enlace” de realimentação, em que todo elemento é tanto “causa” quanto “efeito”, como pode ser observado na Figura 3. A visão sistêmica da guerra contra o terrorismo mostra um ciclo perpétuo de agressão. O esquema explicita a corrida armamentista entre os Estados Unidos e a antiga União Soviética por meio da

visão sistêmica. Percebe-se que os elementos ou variáveis influenciam algum fator e são influenciados por outro, de modo que cada efeito acaba voltando à origem.

Figura 3: Diagrama exemplificando conexões e enlaces



Fonte: Senge (2009, p. 109).

No caso, os dois combatentes conseguem atingir seus objetivos do ponto de vista individual. Porém, fazer o óbvio pode não trazer o resultado esperado. Em longo prazo, os esforços despendidos pelos dois lados somente aumentarão o terror existente.

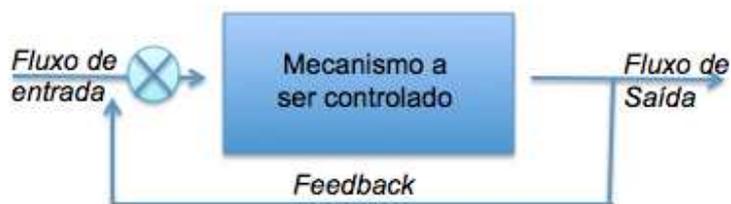
#### 2.1.3.2 Controle de *feedback*

Processos de *feedback* determinam estabilidade, busca de metas, estagnação, declínio e crescimento. Sistemas de *feedback* cercam todas as atividades humanas. Existe um processo de *feedback* quando a ação afeta a condição de um sistema e quando essa condição alterada afeta a ação futura. As interações humanas, a vida doméstica, a política, os processos de gestão, as mudanças do ambiente e a atividade biológica, todos operam com base em ciclos de *feedback*, que conectam ações que resultam em ações futuras. (FORRESTER, 1992).

A ideia básica do controle de *feedback* é apresentada na Figura 4. O esquema mostra que o controle é exercido ao se retroalimentar a saída, para que

seja comparada com a entrada. A ação corretiva é tomada, então, para reinserir o processo nos limites desejados. (PIDD, 1998).

Figura 4: Sistema de *feedback*



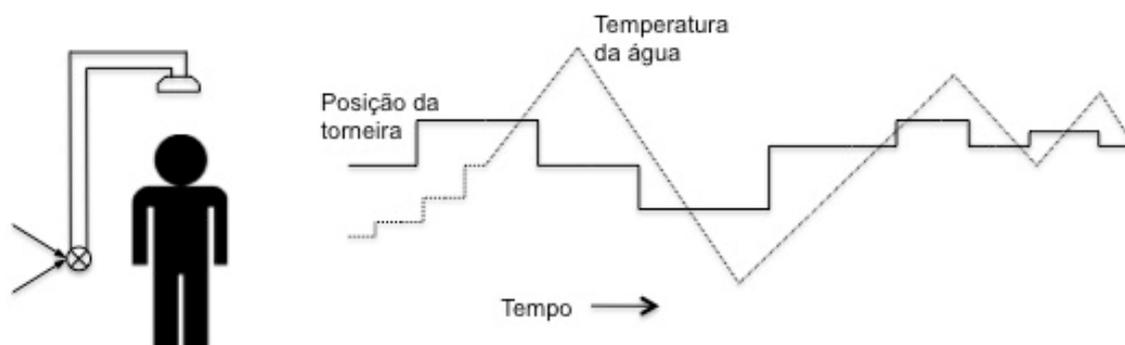
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.1.3.3 Atrasos

Uma característica adicional que pode dificultar o entendimento do comportamento desses sistemas é a dos atrasos que ocorrem ao se transmitir e receber informação. O princípio fundamental de controle é que quanto mais próximo à ação o controle é exercido, provavelmente mais efetivo ele será. (PIDD, 1998).

Atrasos (ou *delays*) em conjunto com o conceito de *feedback* são os responsáveis pela maioria dos sistemas complexos. Atrasos ou retardos são responsáveis por produzir efeitos diferentes no tempo e no espaço. Como uma explicação simples, pode-se considerar a Figura 5:

Figura 5: Atrasos em controle de *feedback*



Fonte: Pidd (1998, p. 167).

A Figura 5 descreve uma pessoa sob um chuveiro tentando ajustar a temperatura da água. O gráfico mostra a posição da torneira e a flutuação de temperatura resultante. A ação de abrir a torneira é realizada, porém há um atraso e,

quando a temperatura começa a se elevar, ela passa do ponto, exigindo uma nova intervenção. Esse processo se repete ao longo do tempo até a temperatura ideal ser atingida.

Existem basicamente duas razões para que uma tarefa tão simples como ajustar a abertura de uma torneira para um banho seja tão difícil de controlar, apesar do rápido *feedback* da temperatura da água. A primeira é a demora entre a ação de ligar o chuveiro e a chegada da água quente. Isso acontece porque o sistema estava cheio de água fria, a menos que alguém tenha usado o chuveiro anteriormente. A segunda é que há uma demora entre ajustar a válvula e a resposta do chuveiro. Assim, entre a ação de girar a torneira e a chegada da água há consequências atrasadas e inesperadas. (PIDD, 1998).

#### **2.1.4 O Pensamento sistêmico**

As características principais do pensamento sistêmico surgiram na Europa, durante a década de 1920, em várias disciplinas. Os precursores em mencionar a teoria sistêmica foram os biólogos, que destacavam a visão dos organismos vivos como totalidades integradas. Em seguida, tal dimensão foi enriquecida pela psicologia da Gestalt e pela nova ciência da ecologia, e teve, quem sabe, os seus efeitos mais dramáticos na física quântica. (CAPRA; LUISI, 2014).

As ideias expressas pelos biólogos organísmicos durante a primeira metade do século XX corroboraram o desenvolvimento de um novo modo de pensar, que faz uso de expressões como conexidade, relações, padrões e contextos. Conforme a visão sistêmica, as propriedades capitais de um organismo ou de um sistema vivo são propriedades do todo, propriedades que nenhuma das partes possui sozinha e que surgem das interações e relações entre essas partes. O acordo sobre uma base conceitual para compreensão do sistema em biologia entre Weiss e Bertalanffy envolve dinâmica, hierarquias e integridade, um conceito epistemológico diretamente ligado à organização. (DRACK; WOLKENHAUER, 2011).

No decorrer da II Guerra Mundial, o engenheiro elétrico Jay W. Forrester, em conjunto com a equipe do Laboratório de Servomecanismos do MIT, trabalhou para as forças armadas americanas no desenvolvimento de controles para armas e

radares. Daí originaram-se os “sistemas de controle de *feedback*”. (ANDRADE, 1997).

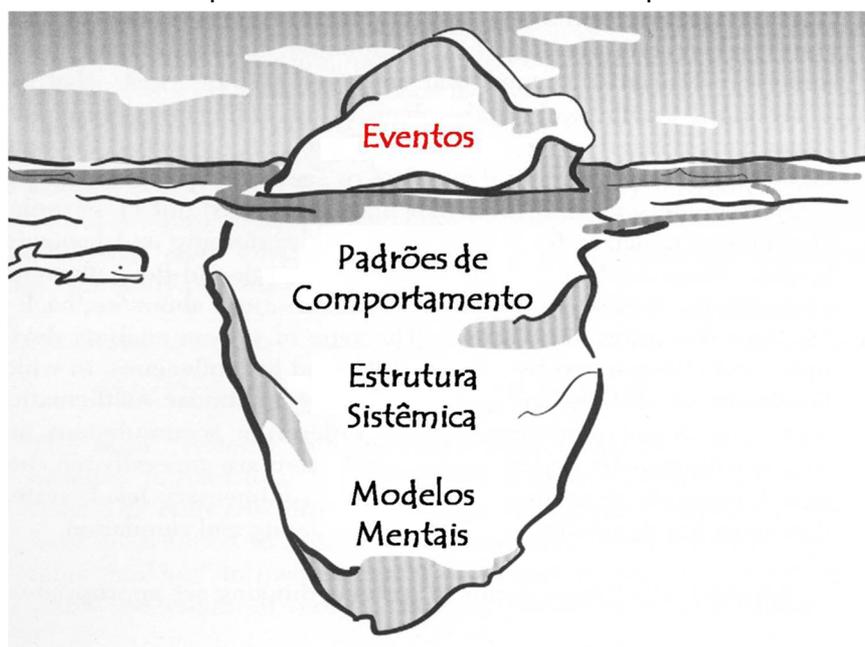
O pensamento sistêmico surgiu como um ponto de convergência entre ciências, como uma atitude basilar de decodificar a natureza e de dominar a complexidade crescente dos produtos da inteligência humana. (JANSEN, 2009). O pensamento sistêmico compreende múltiplos métodos, ferramentas e princípios. Todos apontam para analisar a inter-relação de forças dentro de um sistema no sentido de vê-las como parte de um procedimento comum. O âmbito do pensamento sistêmico vai da cibernética à teoria do caos, englobando diversas disciplinas. Contudo, todas essas metodologias têm uma ideia comum: “que o comportamento de todos os sistemas segue certos princípios comuns, cuja natureza está sendo descoberta e articulada”. (SENGE et al., 2004, p. 82).

O pensamento sistêmico é, mais do que qualquer outra coisa, uma mentalidade para a compreensão de como as coisas funcionam. É uma perspectiva que permite ir além dos eventos, procurar padrões de comportamento, buscar inter-relações sistêmicas subjacentes que são responsáveis pelos padrões de comportamento e pelos eventos. O pensamento sistêmico encarna uma visão de mundo que é base para compreender e interpretar as inter-relações dentro de sistemas. Essas inter-relações são responsáveis pela maneira com que os sistemas funcionam e resultam nos padrões de comportamento e nos eventos que percebemos. (BELLINGER, 2006).

Em diversos momentos, a saída mais fácil acaba direcionando a problemas. Assim, é necessário ter prudência com a resposta mais rápida e fácil. A maioria dos envolvidos prefere atuar nos elementos visíveis, que demandam menor conhecimento para serem tratados, como regras e estrutura física. No entanto, quando se aprofunda na direção de elementos mais difíceis de mensurar, como opiniões e crenças arraigadas nas pessoas, a alavancagem para mudança eficaz aumenta. (MORSCHBACHER, 2009).

O método sugere um necessário aprofundamento da percepção humana sobre a realidade. Essa percepção pode ser dividida em camadas, conforme mostra a Figura 6. Uma visão superficial só percebe a “ponta do iceberg”. Quanto mais se pesquisa e se aprofunda o entendimento, melhor se compreende a realidade, inclusive nos níveis mais importantes.

Figura 6: Os níveis do pensamento sistêmico ilustrados pela metáfora do iceberg



Fonte: Andrade (1997, p. 94).

No entendimento humano, os **eventos** apontam às primeiras percepções dos acontecimentos, ou seja, à atitude preventiva com intuito de reagir a uma situação. Os eventos proporcionam uma realidade fragmentada dos fatos, porém são alterações nos **padrões de comportamento** mais submersos à percepção humana. Para permear os eventos e analisar os padrões de comportamento, é necessário analisar variáveis históricas e suas implicações. A análise dos eventos históricos auxilia a compreender eventos aparentemente novos, que podem ser, na verdade, mais antigos do que se imagina.

As **estruturas sistêmicas** são percebidas somente no terceiro nível, quando se consegue correlacionar os eventos em um ambiente controlado por relações de causa e efeito. Com isso, obtem-se um conhecimento sistêmico dos eventos. Nesse nível consegue-se melhores resultados nas intervenções de alavancagem em mudanças.

Os **modelos mentais** são oriundos das percepções dos seres humanos frente a determinados eventos. Desse modo, é preciso identificar como os modelos mentais dos envolvidos atuam na estrutura. Os modelos mentais auxiliam na capacidade de um repensar mais profundo.

## 2.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL

Com o auxílio da modelagem computacional, constroem-se micromundos do sistema real, de forma que possam ser estimadas as consequências das ações no tempo e no espaço. O micromundo simula a passagem do tempo, permitindo uma aprendizagem experimental menos arriscada e difícil do que aquela realizada no mundo real. (ANDRADE et al., 2006).

Segundo Andrade (1997), a modelagem tem como principal função a possibilidade de reavaliar os modelos mentais dos participantes do processo, sendo que o computador oferece um ambiente seguro para "experimentações" sem interferir no sistema real. Uma vez modelado o sistema, é necessário testar a aderência do modelo em relação ao comportamento das variáveis no âmbito conhecido, isto é, por meio da repetição do comportamento passado. Segundo Senge (1996), a modelagem disponibiliza um valioso laboratório de exercício, que serve como espaço de transformação para uma equipe ou organização.

### 2.2.1 Modelagem em dinâmica de sistemas

A modelagem computacional em dinâmica de sistemas parte de um modelo qualitativo (o mapa sistêmico) para um modelo quantitativo (modelo computacional). Para tanto, usam-se as técnicas da área de conhecimento da dinâmica de sistemas. O processo inicia com a interpretação do mundo real e finaliza quando os gerentes alcançam um *insight* satisfatório a partir da modelagem. Isso significa que a modelagem computacional é fundamental no processo de aprendizagem ao longo do trabalho. (ANDRADE et al., 2006).

A mente humana apresenta bons resultados no que diz respeito à construção de modelos que utilizam objetos no espaço. Também dispõe de excelente habilidade para associar palavras e ideias. Porém, quando confrontada com modelos sociais e tecnológicos, a mente humana, na maioria das vezes, não possui capacidade de criar e interpretar a dinâmica existente entre tais modelos. (FORRESTER, 1968).

Forrester (1968) salienta, ainda, que na resolução de problemas utilizando somente o conhecimento passado, há grande tendência de se separar as partes e visualizá-las de forma isolada e não sistêmica. Com isso, não se chega a uma

melhor solução para o problema em questão. Um modelo de dinâmica de sistemas não deve ser comparado ao estado da arte, mas confrontado com os modelos mentais envolvidos no estudo.

A modelagem em dinâmica de sistemas tem o papel de representar os processos de um sistema que definem seu comportamento. Criar modelos de estruturas de processos de sistema é fundamentalmente reconhecer os fluxos que transformam recursos de diferentes modos. Sugere identificar, na estrutura sistêmica, os recursos que estão “fluindo” através das setas, e os diferentes estados em que esses recursos podem se transformar. (FORRESTER, 1968).

Senge (1996, p. 162) aponta que, na prática, a modelagem computacional tem sido usada para:

- a) Mostrar como estruturas sistêmicas produzem diretamente padrões de comportamento;
- b) Testar se uma estrutura reproduz o desempenho que foi observado no mundo real;
- c) Explorar como o comportamento mudará quando aspectos diferentes da estrutura forem alterados;
- d) Revelar pontos de alavancagem que de outro modo poderiam ser ignorados;
- e) Empenhar equipes num conjunto mais profundo de aprendizados sistêmicos e permitir que elas experimentem as consequências do seu pensamento.

Como pode ser observado, a dinâmica de sistemas contribui de forma significativa para o entendimento de problemas complexos da organização.

#### 2.2.1.1 Estoques e fluxos

A relação entre estoques, fluxos e *feedback* representa os principais conceitos da dinâmica de sistemas. Estoques e fluxos são responsáveis por atrasos, atribuindo inércia e memória aos sistemas. Eles podem ampliar ou minimizar distúrbios e são fundamentais na construção da dinâmica dos sistemas. (SENGE, 1996).

Os estoques são acúmulos que caracterizam a capacidade do sistema de gerar informações sobre as quais as decisões e ações são baseadas. Estoques criam atrasos por acumular a diferença entre a entrada de um processo e a sua

saída. Ao desvincular as taxas de fluxo, os estoques são a fonte de dinâmica de desequilíbrio nos sistemas.

Para se entender a dinâmica que se estabelece entre estoques e fluxos, alguns exemplos são explicitados a seguir. O inventário de uma empresa de manufatura é o estoque de produto em seus armazéns. O número de pessoas empregadas por uma empresa também é um estoque. Igualmente, o saldo de uma conta corrente é um estoque. Nessa perspectiva, percebe-se que os estoques são alterados por entradas e saídas. Já o inventário de uma empresa aumenta com o fluxo de produção e diminuiu com o fluxo de vendas (e, possivelmente, com outras saídas devido à deterioração ou ao encolhimento). A força de trabalho aumenta por meio de contratação e diminui com saídas, demissões e aposentadorias. O saldo bancário aumenta com depósitos e diminui à medida que saques são realizados. Muitas vezes as pessoas não conseguem distinguir claramente fluxo e estoque. Essa incapacidade leva, por vezes, a uma subestimação dos atrasos de tempo, a um foco de curto prazo, e a resistências políticas. (STERMAN, 2000).

Sterman (2000) propõem notações para estoques e fluxos. Na dinâmica de sistemas, normalmente é usada uma notação de simbologia especial para estoques e fluxos. Na Figura 7, observa-se que as válvulas representam os fluxos e que o retângulo representa o estoque.

Figura 7: Estoques e fluxos



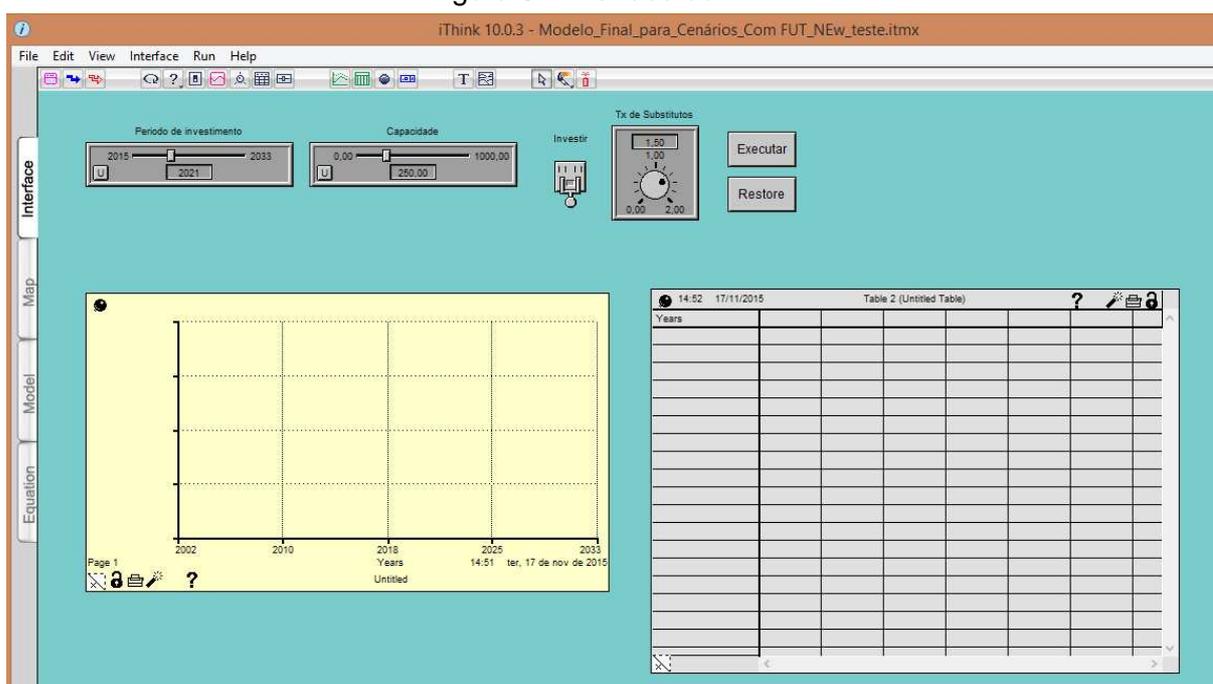
Fonte: Elaborado pelo autor.

No exemplo, tem-se a taxa de natalidade como um fluxo de entrada, a população como estoque, e a taxa de mortalidade como um fluxo de saída. A única forma de mudar um estoque é por meio de entradas e saídas. Os estoques, por sua vez, determinam os fluxos (Figura 7).

## 2.2.2 Software de dinâmica de sistemas iThink

O software de dinâmica de sistemas iThink é um produto da Isee Systems e, segundo o desenvolvedor<sup>1</sup>, permite criar rapidamente diagramas de sistemas que podem ser simulados ao longo do tempo. Por meio desse software, é possível trabalhar em um ambiente completamente livre de risco e simular hipóteses e intervenções políticas repetidamente até que se alcancem os resultados desejados. O iThink também permitem que o usuário crie uma interface, conforme exemplo da Figura 8, onde os resultados são plotados em gráficos e tabelas, o que torna fácil compartilhar os resultados obtidos. A interface ainda permite executar o modelo de simulação como parte de uma apresentação, e possibilita que usuários simulem diversos cenários possíveis.

Figura 8 : Interface do iThink



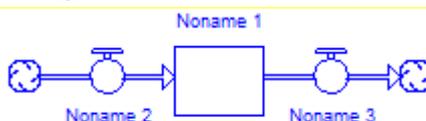
Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Richmond (2004), o iThink é mais comumente utilizado para aplicações de negócios, como por exemplo, para simular e compreender os processos de negócios, para entender o funcionamento do negócio de forma mais holística e para desenvolver estratégias alternativas, a fim de atender novos

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.iseesystems.com/software/STELLA-iThink.aspx#>. Acesso em: 22/10/2015.

objetivos dos negócios. O iThink possui recursos robustos de interação para compartilhamento das interdependências entre os processos e seus objetivos, auxiliando a explorar com segurança as possíveis melhorias. A linguagem do iThink é basicamente estoques e fluxos, como pode ser visto na Figura 9. Os fluxos são simbolizados por válvulas, e os estoques por retângulos.

Figura 9 : Fluxos e estoques



Fonte: Elaborado pelo autor.

O iThink, juntamente com o STELLA, o Vensim e o Anylogic, são os principais softwares de dinâmica de sistemas. Porém, segundo Richmond (2004), o iThink possui um grande diferencial, a saber, a forma simplificada e visual com que os modelos são desenvolvidos. Isso o torna um dos softwares mais utilizados pelos modeladores de dinâmica de sistemas.

### 2.2.3 Linguagem para intercâmbio de dinâmica de sistemas

O *Interchange Language* (XMILE) para dinâmica de sistemas define um protocolo XML aberto para portabilidade, compartilhamento, interoperabilidade e reutilização de modelos de dinâmica de sistemas e simulações. O XMILE fornece uma estrutura comum para descrever modelos de dinâmica de sistemas. (CHICHAKLY, 2007).

Jim Hines propôs, no *System Dynamics Society*, em 2003, um formato de intercâmbio comum para modelos de dinâmica de sistemas. Magne Myrtveit originalmente havia proposto essa ideia em 1995, no *Internacional System Dynamics Conference* (ISDC), porém Jim esperava reavivar o interesse nessa dinâmica e, para tanto, escolheu o nome XMILE (Modelo de Simulação Interchange Language). Os benefícios propostos por Jim, segundo Chichakly (2007), são:

- a) Compartilhamento de modelos pode levar a um aumento de conhecimento e a uma partilha de ideias;

- b) Repositório on-line poderia ser construído para facilitar a aprendizagem;
- c) Os padrões abertos são mais bem aceitos em grandes corporações, pois minimizam o risco com fornecedores específicos;
- d) Impulsiona a inovação, permitindo que não fornecedores possam desenvolver sistemas similares;
- e) Permite a criação de um registro histórico de obras importantes a que todos os envolvidos podem ter acesso;
- f) Permite que fornecedores possam expandir sua base de mercado, porque suas características únicas estão disponíveis para todos os modeladores de dinâmica de sistemas.

O conjunto de linguagem inclui a maior parte dos termos existentes no Dínamo (CHICHAKLY, 2007), haja vista que ele foi a primeira linguagem de modelagem dinâmica de sistemas e que muitos dos modelos construídos no Dínamo representam trabalhos seminais no campo da dinâmica de sistemas. Diante disso, são utilizados os blocos básicos de construção disponíveis no Dínamo. Os tópicos a seguir definem a linguagem de dinâmica de sistema central que é necessária para se ter um modelo XMILE- compatível:

- a) **Estoques** acumulam, e o seu valor precisa ser definido como uma constante ou como uma equação inicial no princípio da simulação. A equação inicial é avaliada apenas uma vez, no início da simulação. No decorrer da simulação, o valor de um estoque aumenta com os fluxos de entrada e diminui com os fluxos de saída.
- b) **Fluxos** representam as taxas de variação dos estoques. Eles podem ser definidos usando qualquer expressão algébrica. Durante o curso de uma simulação, um valor de fluxo é calculado e utilizado no cálculo dos níveis.
- c) **Auxiliares** permitem o isolamento de qualquer função algébrica que é usada. Podem ser definidos a partir de qualquer expressão algébrica, e até mesmo de um valor constante.

Esses tópicos são utilizados para representar as relações dinâmicas existentes nos modelos computacionais derivados do Dínamo.

## 2.3 PLANEJAMENTO DE CENÁRIOS

O conceito de cenários é antigo, já que desde os primeiros tempos as pessoas se mostram interessadas no futuro. Assim, a utilização de cenários como ferramenta para explorar indiretamente o futuro da sociedade e de suas instituições tem se mostrado crescente ao longo do tempo. Nesse contexto, os cenários têm geralmente assumido a forma de tratados sobre utopias e distopias e, como tal, têm uma longa história que pode ser rastreada voltando-se aos escritos dos primeiros filósofos, como as descrições de Platão e de suas ideias de República e de outros visionários que vão de Thomas More a George Orwell. No entanto, enquanto ferramentas de planejamento estratégico, técnicas de cenários estão firmemente enraizadas nas forças armadas por terem sido empregadas por estrategistas militares ao longo da história, geralmente sob a forma de jogo de guerra e simulações. (BRADFIELD, 2005).

A precisão das previsões pode ter um impacto significativo sobre a linha do tempo. Embora os estudiosos discutam a utilidade de Dinâmica de Sistemas para a realização de previsões em geral, reconhece-se que ela deve ser aplicada principalmente para fornecer informações sobre a evolução em longo prazo, e não para previsões de curto prazo. (KAPMEIER; VOIGT, 2013).

A função educativa de cenários ganhou importância nos últimos anos em comparação à sua função de ferramenta de planejamento. Cenários começaram a ser empregados mais para fins exploratórios do que para predição na Royal Dutch Shell, que levantou a possibilidade de uma transformação na cadeia de fornecimento e produção de petróleo. (HEIJDEN et al., 2002).

Um mundo complexo e turbulento é impossível de se compreender em todos os seus aspectos. A abordagem de cenários pode ser vista como uma forma de melhorar a compreensão e de antecipar o futuro, ou ainda, como uma maneira de ajudar os grupos institucionais a avançar com mais habilidade em tempos incertos. O futuro não é completamente previsível e nem completamente aleatório. (HEIJDEN, 2000).

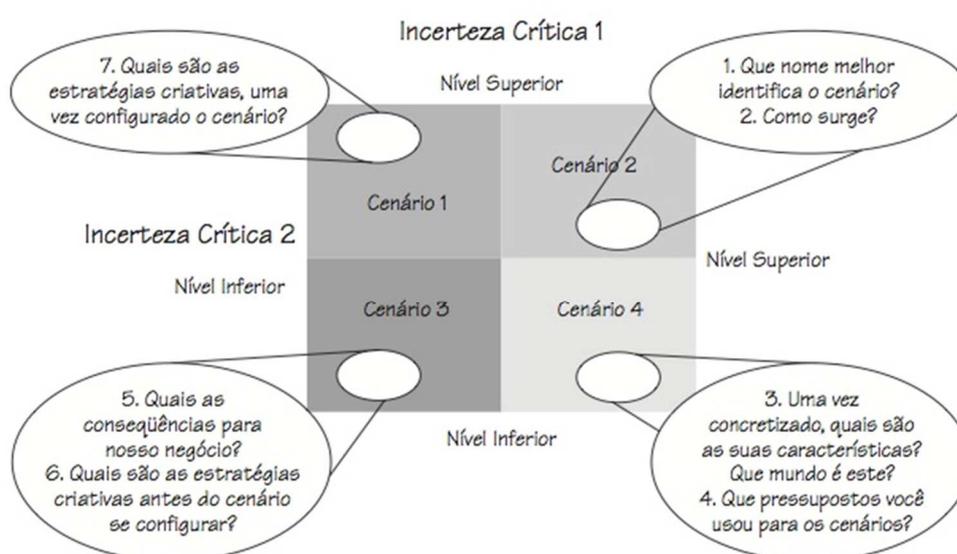
## 2.4 CENÁRIOS E MODELAGEM COMPUTACIONAL

A construção de modelos computacionais (simuladores de voo gerenciais) em trabalhos que utilizam o Pensamento Sistêmico e o Planejamento por Cenários colabora, de forma significativa, para a aprendizagem organizacional. (ANDRADE et al., 2006). Os autores sugerem a construção de modelos úteis ao processo de cenários, que podem ser definidos como qualitativos e quantitativos.

### 2.4.1 Cenários qualitativos

Um dos passos da construção de cenários diz respeito à visualização. Tal passo tem como propósito selecionar as lógicas existentes nos cenários, cujos aspectos são descritos na Figura 10.

Figura 10: Aspectos qualitativos



Fonte: Andrade et al. (2006, p. 216).

Esse procedimento resulta em conhecimento qualitativo superior em padrões e definições. O processo gera um elevado grau de aprendizagem, pois possibilita confrontar novos pressupostos e ações dentro de um micromundo gerencial. Nesse caso, os pressupostos dos envolvidos são testados de forma qualitativa e, principalmente, quantitativa. Os resultados podem sugerir que os modelos mentais

sejam revisados, estimulando, de forma estratégica e criativa, o modelo gerencial. (ANDRADE et al., 2006).

#### **2.4.2 Cenários quantitativos**

Na construção de cenários quantitativos eficazes, um modelo computacional robusto é de suma importância, para que cada cenário seja simulado e forneça resultados satisfatórios. Nesse ínterim, não somente o cenário deve ser simulado, mas também as consequências de suas ações. Andrade et al. (2006) sugerem que um modelo possua as seguintes características:

- a) Deve conter botões e controles no painel que simulem o que ocorre em cada eixo do cenário. Estes devem ser as variáveis de entrada do modelo;
- b) Deve possuir gráficos e tabelas de saída que permitam a visualização do que ocorre com as variáveis de saída do modelo;
- c) Deve conter toda a modelagem necessária das relações de enlace de causa-e-efeito entre as variáveis de entrada e saída.

Com tais características, os cenários corroboram um melhor entendimento e simplificam a visualização das ações executadas nos diferentes cenários, facilitando a tomada de decisão.

### **2.5 APLICAÇÕES DA DINÂMICA DE SISTEMAS E CENÁRIOS**

A dinâmica de sistemas, seja em forma pura ou como complemento à utilização do pensamento sistêmico, tem sido amplamente utilizada para visualização de cenários, como pode ser visto nos exemplos a seguir.

Qi e Chang (2011) utilizaram a modelagem em dinâmica de sistemas na visualização da demanda de água em Manatee, um dos 67 condados do estado americano da Flórida. No que tange à análise realizada, o modelo obteve sucesso, levando em consideração as relações locais. Porém, há espaço para melhorar os resultados, acrescentando fatores macroeconômicos, como mudanças globais. No

estudo realizado por Qi e Chang (2011) ficou evidenciado que questões como a taxa de desemprego e a renda média anual são considerados os dois principais indicadores de demanda por água doméstica na região estudada.

Morandi (2008) adaptou o método do pensamento sistêmico e o planejamento por cenários a fim de entender os principais fatores que possibilitam visualizar os preços futuros do minério de ferro. O estudo permitiu, através da aplicação do método do pensamento sistêmico e do planejamento por cenários, identificar inicialmente as principais variáveis-chave de comportamento que influenciam a dinâmica de entendimento de precificação e suas inter-relações através da estrutura sistêmica. Uma grande contribuição da pesquisa foi a conversão das relações em equações de regressão, além do desenvolvimento de um modelo computacional.

Como resultado, ficou evidente que a dinâmica de sistemas contribui de forma significativa para o entendimento do mercado, permitindo que a empresa compreenda o impacto de suas decisões. Como em diferentes trabalhos de dinâmica de sistemas, os dados históricos são limitantes do modelo, porém, conforme Morandi (2008), a atualização constante de informações contribui para o aperfeiçoamento do modelo.

Suryani et al. (2010a) apresentam um modelo para a previsão de demanda de passageiros aéreos e de cenários relacionados à pista de pouso e decolagem, assim como para a expansão da capacidade do terminal de passageiros visando a atender a demanda futura, sob a ótica da dinâmica de sistemas. Os autores salientam que a demanda por viagens é difícil de prever. Com isso, a dinâmica de sistemas torna-se importante, pois com ela é possível obter melhores resultados. Quando comparada a outras abordagens, é mais informativa para desenvolver sensibilidades robustas e para encaminhar as melhores decisões.

A partir do modelo básico, Suryani et al. (2010a) elaboraram cenários, testando o impacto nas passagens aéreas do nível de impacto serviço, do PIB, da população, do número de voos por dia e do tempo de permanência no desembarque. Todos esses fatores tiveram um papel importante na determinação do volume de passageiros. No modelo, a utilização da pista e a área total adicional necessária para a expansão da capacidade do terminal de passageiros foram avaliadas. Tal aplicação da dinâmica de sistemas e do planejamento de cenários é de suma importância, pois é necessário prever a demanda de viagens aéreas a fim de apoiar um planejamento de longo prazo que atenda a demanda futura.

Morschbacher (2009) utilizou o pensamento sistêmico, a modelagem de dinâmica de sistemas e o planejamento de cenários no desenvolvimento de um método para tentar estimar os volumes de exportação brasileira de carne e de frango. O método mostrou-se eficiente, pois por meio dele foi possível avaliar diferentes cenários e posicionar as estratégias da organização dentro dos cenários estudados. O autor cita, ainda, a importância do método empregado no estudo de mercado que, no caso deste trabalho, diferencia-se dos métodos tradicionais de previsão de demanda. Os métodos tradicionais podem não ser suficientemente robustos para sustentar a elaboração de um planejamento estratégico.

Nos trabalhos analisados, fica evidente que a utilização da dinâmica de sistemas e do planejamento de cenários colabora para a tomada de decisão. Porém, em nenhuma das pesquisas averiguadas, questões de produtos e/ou serviços substitutos foram avaliados como incertezas críticas. Como exemplo, cita-se o caso do aço, que tem os polímeros como um dos principais concorrentes. Tal concorrência entre aço e polímeros ocasiona desequilíbrio no modo de precificação vigente. (SOROUDI; JAKUBOWICZ, 2013). Igualmente, o transporte aéreo pode ser substituído em determinadas rotas por tecnologias como o *Vactrain*<sup>2</sup>, que pode atingir velocidade de até 6.500km/h. Da mesma forma, alimentos como a carne de frango enfrentam grande concorrência com produtos substitutos, como carne vermelha, de soja e demais produtos. Sendo assim, há espaço para uma nova abordagem no planejamento de cenários que contemple produtos substitutos juntamente com questões econômicas. Essa interação é de grande importância para o planejamento de cenários de longo prazo, a fim de proporcionar um maior entendimento para os tomadores de decisão.

A utilização de um padrão para compartilhar modelos de dinâmica de sistemas em conjunto com o planejamento de cenários é de grande importância, pois pode proporcionar portabilidade aos modelos desenvolvidos. Nos trabalhos analisados, não foram disponibilizadas alternativas para execução dos modelos em outros softwares com o intuito de replicar os estudos.

---

<sup>2</sup> Disponível em: [www.et3.com](http://www.et3.com). Acesso em: 17/11/2015.

### 3 MÉTODO

Esta seção traz as considerações acerca dos aspectos metodológicos de pesquisa e descreve o método de trabalho de forma sucinta.

#### 3.1 MÉTODO CIENTÍFICO

A pesquisa pode ser definida como um método racional e sistemático, que tem como objetivo assegurar respostas a problemas que são propostos. A pesquisa é requerida para responder a um problema quando não se dispõem de dados suficientes ou ainda quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não pode ser adequadamente relacionada ao problema. (GIL, 2010).

Marconi e Lakatos (2010) salientam que todas as ciências se caracterizam por utilizar métodos científicos. Em compensação, nem todos os ramos de estudo que aplicam esses métodos são ciências. Com isso, pode-se concluir que a utilização de métodos científicos não é exclusividade da ciência, porém não há ciência sem a utilização de métodos científicos.

Assim sendo, o método é a reunião de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permitem atingir os objetivos a partir de conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando a trilha a ser seguida, identificando erros e suportando as decisões do cientista. (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Miguel et al. (2010) descrevem a importância das concepções metodológicas adotadas para a pesquisa, explicitando que existe mais de uma para a ciência. Para Gil (2010), o entendimento proporciona bases lógicas de investigação, abrangência, princípio e validade de generalizações, que são categorizadas pelo autor como métodos. Nesta pesquisa, utiliza-se o método *Design Science Research* (DSR), que é apresentado na subseção a seguir.

#### 3.2 MÉTODO DE PESQUISA

A *Design Science Research* (DSR) tem obtido sucesso em diversas áreas de pesquisa. Os elementos essenciais dessa abordagem são escolher problemas

relevantes do mundo dos negócios, conceber soluções rigorosas na academia e trazê-los à prática, a fim de avaliar o resultado. (VOM BROCKE; LIPPE, 2010).

Goldkuhl e Lind (2010) descrevem como resultado da pesquisa em DSR a criação de um artefato para resolver um problema importante de uma organização. Hevner e Chatterjee (2010) postulam que DSR é um paradigma de pesquisa em que um pesquisador responde a perguntas relevantes sobre os problemas humanos através da criação de artefatos inovadores, contribuindo, assim, para que novos conhecimentos sejam agregados às evidências científicas. Os artefatos projetados devem ser úteis e fundamentais para perceber o problema. Neste caso, o artefato proposto é um Modelo de Dinâmica de Sistemas a partir da aplicação do PSPC, com o objetivo de visualizar a demanda de estireno no mercado brasileiro.

Segundo Hevner e Chatterjee (2010), o termo artefato é usado para descrever qualquer coisa que é artificial ou construído por seres humanos, em oposição a algo que ocorre naturalmente. Tais artefatos devem melhorar as soluções existentes para um problema ou fornecer uma primeira solução para um problema importante. Dresch, Lacerda e Antunes (2014, p. 108) consideram que o artefato “pode ser entendido, portanto, como a organização dos componentes do ambiente interno para atingir objetivos em um determinado ambiente externo”.

O objetivo da pesquisa em DSR é desenvolver soluções de base tecnológica para importantes e relevantes problemas de negócios. Muitas vezes a tentativa de alinhar áreas estratégicas dentro da organização, como por exemplo, a estratégia de negócios e a de tecnologia de informação, expõe grandes dificuldades. (HEVNER; CHATTERJEE, 2010). Aken (2005) salienta que a *Design Science* tem como alvo desenvolver conhecimento a ser empregado para projetar soluções. Lacerda et al. (2013) citam o uso da DSR como método para operacionalizar a construção de conhecimento. Todavia, para utilizar a DSR como método de pesquisa, sete requisitos devem ser atendidos, como mostra o quadro 3. (HEVNER et al., 2004).

Quadro 3: Critérios de caracterização de DSR

Critério	Descrição
1.Design como artefato	As pesquisas desenvolvidas pelo método de Design Science Research devem produzir artefatos viáveis, na forma de um constructo modelo, método ou de uma instanciação.
2.Relevância do problema	O Design Science Research tem por objetivo desenvolver soluções para os problemas importantes e relevantes da organização.
3.Avaliação do design	A utilidade, a qualidade e a eficácia do artefato devem ser rigorosamente demonstradas através de métodos de avaliação bem executados.
4.Contribuições da pesquisa	Uma pesquisa utilizando o método de Design Science Research deve fornecer contribuições claras e verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos e apresentar fundamentação clara em fundamentos de design e/ou metodologias de design
5.Rigor da pesquisa	O projeto de pesquisa deve ser baseada em uma aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção como na avaliação dos artefatos.
6.Design como um processo de pesquisa	A busca por um artefato eficaz requer a utilização de meios para atingir fins desejados, ao mesmo tempo que satisfaçam as leis que regem o ambiente em que o problema.
7.Camunicação da pesquisa	As pesquisas conduzidas pelo método da Design Science Research devem ser apresentadas de forma eficaz para ambos os públicos tanto para o mais orientado à tecnologia quanto para aquele mais orientado a gestão

Fonte: Adaptado de Hevner et al. (2004)

Dresch, Lacerda e Antunes (2014) chamam a atenção para a necessidade de a pesquisa agregar valor ao conhecimento teórico existente, gerando avanço no conhecimento geral, bem como melhorando situações práticas nas organizações.

### 3.2.1 Etapa de construção

Manson (2006) define o projeto de pesquisa como uma perspectiva sobre a investigação ou como uma maneira de olhar para a pesquisa e pensar sobre ela. A DSR é composta pela construção e avaliação, como atividades fundamentais. Manson (2006) utilizou o modelo de processo de DSR proposto por Takeda et al. (1990 apud VAISHNAVI; KUECHLER, 2009), descrevendo as seguintes etapas:

- a) **Sensibilização para o problema:** o processo de pesquisa começa quando o pesquisador toma conhecimento do problema. O pesquisador, então, elabora uma proposta formal ou informal de pesquisa, o que é a saída desta etapa do processo. (MANSON, 2006);
- b) **Sugestão:** durante a fase de sugestão, o pesquisador elabora o conceito do projeto, realizando um esboço da ideia existente. Esta etapa é

caracterizada como fase preliminar. Nela deve ser gerado um projeto experimental. Os projetos experimentais estão intimamente ligados à proposta, e qualquer proposta formal de financiamento inclui, normalmente, pelo menos um projeto experimental. Se o pesquisador não pode formular um projeto experimental, o esforço de investigação geralmente é anulado. (MANSON, 2006);

- c) **Desenvolvimento:** durante esta fase, o pesquisador vai construir um ou mais artefatos. As técnicas utilizadas podem variar amplamente, dependendo dos artefatos que serão construídos. “Alguns exemplos de artefatos são algoritmos com uma prova formal, software e sistemas especialistas”. (LACERDA et al., 2013, p. 10);
- d) **Avaliação:** uma vez construído, o artefato deve ser avaliado em função dos critérios contidos na proposta inicial. Antes e durante a construção, são formuladas hipóteses sobre como o artefato irá se comportar. Caso haja algum problema ou desvio, as eventuais situações devem ser explicadas e solucionadas. (MANSON, 2006);
- e) **Conclusão:** nesta etapa, os resultados são apresentados e documentados, e o conhecimento gerado pode ser reaplicado quando se julgar necessário. Caso existam problemas com o artefato, estes serão escopo para trabalhos futuros. Então as fundamentais aprendizagens são sintetizadas e os principais resultados são consolidados e escritos. (MANSON, 2006).

Observa-se que as etapas elencadas acima são características em trabalhos que são guiados pela DSR.

### 3.2.2 Tipo de artefato

Os tipos de artefatos são definidos como saídas do projeto, conforme argumenta Manson (2006). Ainda conforme o mesmo autor, para que se tenha uma pesquisa de design, deve-se produzir um novo conhecimento. Neste estudo, o artefato gerado será o modelo de dinâmica de sistemas com base na classificação dos artefatos de March e Smith (1995).

Modelos, segundo March e Smith (1995), são conjuntos de declarações que expressam relações entre constructos. Eles permitem que pesquisadores possam manipular os constructos. São valiosos apenas na medida em que se tornam úteis para ajudar a criar uma solução para um problema. Assim, a preocupação de modelos em Design Research é a utilidade e não a verdade, como na Ciência Natural. (MANSON, 2006).

Segundo Dresch, Lacerda e Antunes (2014), o artefato construído com base na DSR generaliza uma solução para um determinado conjunto de problemas, tornando-se um conjunto de soluções que pode ser aplicado em diversas situações similares, desde que as particularidades de cada situação sejam consideradas.

Neste trabalho foram construídos três artefatos com propósitos distintos. O primeiro deles é um modelo computacional de dinâmica de sistemas, que tem o propósito de validar as equações oriundas das regressões das variáveis explicativas do modelo. O segundo é um modelo computacional que foi utilizado para visualizar cenários futuros da demanda de estireno e, ainda, para gerar aprendizagem aos participantes desta pesquisa. O terceiro artefato, por sua vez, foi gerado pela saída do primeiro, sendo utilizado o padrão XMILE. O terceiro artefato objetiva testar a portabilidade dos modelos de dinâmica de sistemas construídos neste padrão, verificando a possibilidade de serem executados por diferentes plataformas de dinâmica de sistemas.

### **3.2.3 Justificativa para utilização do método**

A utilização da DSR como método de pesquisa a ser empregado nesta dissertação justifica-se pelo fato de o estudo estar diretamente alinhado às sete diretrizes propostas por Hevner et al. (2004) e descritas a seguir:

- a) Design como artefato: propõe-se a construção de um modelo de dinâmica de sistemas para visualização da demanda de estireno no mercado brasileiro, com a finalidade de atender aos objetivos propostos e de contribuir com conhecimento teórico aplicável;

- b) Relevância do problema: visualizar a dinâmica do consumo de estireno no mercado brasileiro e proporcionar estratégias para atendimento da demanda com base nas principais áreas de consumo;
- c) Avaliação do design: o artefato foi apresentado à área de marketing e inteligência de mercado, resultando em um modelo de visualização da demanda como ferramenta de aprendizagem;
- d) Contribuições da pesquisa: quanto à contribuição acadêmico-científica, a pesquisa proporciona a utilização de uma técnica robusta, sob o ponto de vista teórico, para solucionar problemas importantes das organizações. No que tange ao mercado, há aprendizado quanto ao emprego de uma técnica até então desconhecida, a saber, a modelagem em dinâmica de sistemas;
- e) Rigor da pesquisa: a pesquisa seguiu os passos metodológicos que foram construídos com o apoio de um grupo de trabalho;
- f) Design como um processo de pesquisa: utiliza-se pesquisa teórica explorando o uso dos métodos aplicados na construção do artefato e contextualizando o mercado estudado;
- g) Comunicação da pesquisa: composição da presente dissertação de mestrado, contextualizando, para a academia e para o mercado estudado, um modelo de dinâmica de sistemas que auxilia no aprendizado e no entendimento dessas áreas.

Um trabalho que utiliza o PSPC deve ser realizado coletivamente, com interação entre participantes e pesquisador. Nesse âmbito, o método DSR é o mais indicado para a condução desta pesquisa.

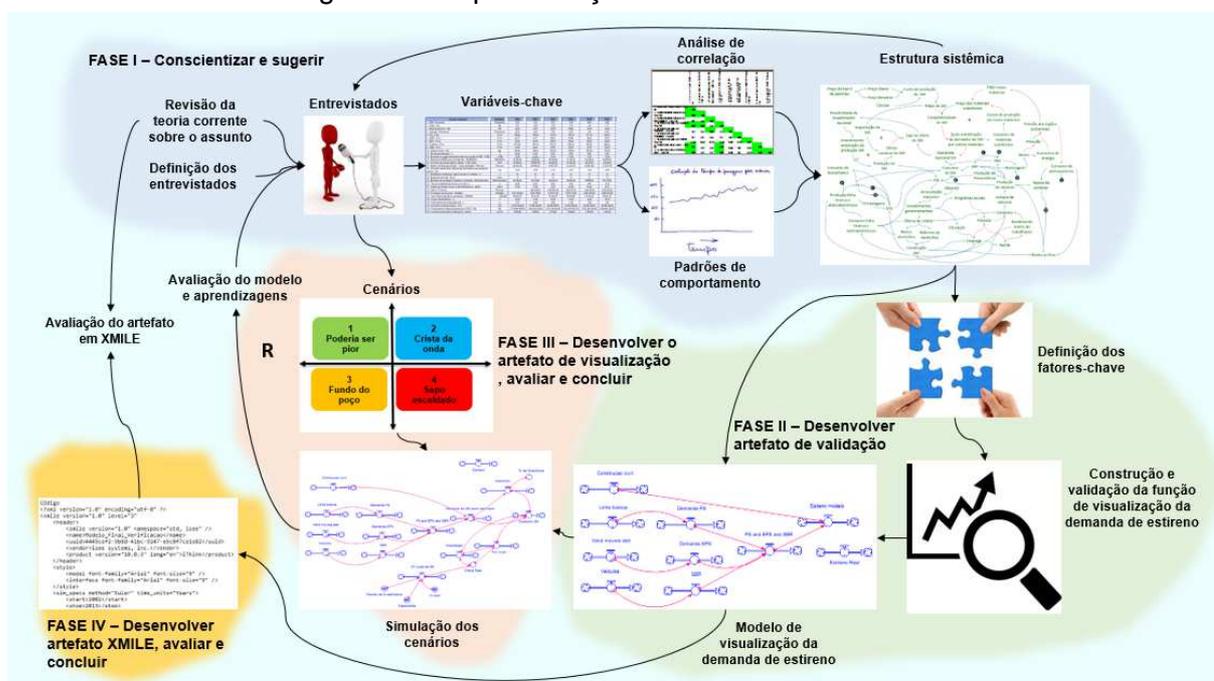
### 3.3 MÉTODO DE TRABALHO

Conforme Marconi e Lakatos (2011), o método consiste em um conjunto de regras que têm por finalidade elucidar determinado problema ou ilustrar um fato através de hipóteses ou teorias, que necessitam ser testadas experimentalmente e que podem ser comprovadas ou refutadas.

O tema desenvolvido no presente trabalho originou-se da necessidade de incluir uma abordagem robusta na abordagem de visualização de demanda. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa em periódicos nacionais e internacionais, em bases de dados de teses e dissertações, e em demais fontes, com o intuito de se identificar pesquisas que vêm sendo realizadas nesse sentido. O presente estudo se propõe a criar um artefato para ser utilizado em um ambiente real de visualização de demanda de estireno no mercado nacional. Para tanto, o método de trabalho foi dividido em 4 diferentes fases.

Sob a ótica do Design Science Research (DSR), a Fase I está alinhada aos passos de Conscientizar e Sugerir. A Fase II compreende a atividade de Desenvolver o artefato de validação. As Fases III e IV ainda pressupõem partes do passo de Desenvolver no que tange à construção do artefato de visualização dos cenários e do artefato XMILE. As Fases III e IV estão totalmente incluídas nas etapas de Avaliar e, por fim, de Concluir. Essa lógica de trabalho segue o apresentado por Aken (2004). O método de trabalho utilizado para desenvolver e avaliar esta pesquisa está apresentado na Figura 11.

Figura 11: Representação do método de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

As descrições das fases do método de trabalho são descritas e detalhadas a seguir.

### 3.3.1 Fase I: Conscientizar e sugerir

A fase inicial se presta à obtenção do conhecimento. Nela é gerada a compreensão da situação e se dá o passo inicial para atingir os objetivos.

- a) Revisão teórica: a pesquisa bibliográfica, como qualquer outra, é realizada em uma série de etapas. O número de etapas, assim como sua sequência, depende de muitos fatores, tais como a natureza do problema, o nível de conhecimentos que o pesquisador tem sobre o assunto e o grau de exatidão que se pretende impor à pesquisa. (GIL, 2010).

Em um primeiro momento, realizou-se uma pesquisa acerca do tema proposto nos principais jornais e bases de periódicos nacionais e internacionais, assim como em dissertações e teses. Essa revisão se justifica com o propósito de gerar uma questão de pesquisa no âmbito acadêmico-científico. (MARCONI; LAKATOS, 2011).

- b) Definição dos entrevistados: os entrevistados foram selecionados seguindo a lógica proposta por Schwartz (2000), que propõe três considerações principais. Primeiramente, o apoio e participação dos níveis mais elevados da administração, que devem assumir a responsabilidade de tomar e implementar decisões. Em segundo lugar, os entrevistados devem possuir um amplo conhecimento do setor. E, por fim, devem ser pessoas criativas, com mentes abertas, que possam contribuir de forma significativa. Com tais premissas definidas, buscou-se contato com os entrevistados.

Inicialmente realizou-se o convite pessoal, por meio de uma rápida explanação sobre o tema estudado. Após o aceite dos entrevistados, eles passaram a formar um grupo focal que auxiliou a construir e avaliar o artefato gerado. Lacerda et al. (2013) sugerem que o grupo focal pode ser usado como meio para avaliar o artefato gerado na DSR. Dessa forma, a definição dos entrevistados torna-se uma etapa de suma importância para o estudo. No quadro 4, são apresentados os entrevistados com suas respectivas formações e atuações. Verifica-se que todos possuem amplo conhecimento do setor petroquímico e ocupam posições importantes no

que tange à tomada de decisão. Sendo assim, podem contribuir de forma significativa para o desenvolvimento do trabalho.

Quadro 4: Lista dos entrevistados

	<b>Formação</b>	<b>Área de atuação</b>	<b>Experiência</b>
ENTR1	Engenharia Mecânica com Especialização em Petroquímica - JICA Japão / Executive Program - University of Michigan / PGA Fundação Dom Cabral / IBGC - Conselheiro de Administração Certificado	Diretor Presidente	Diretor presidente, Diretor comercial de refinaria, Diretor Superintendente e Executivo de Engenharia. Com experiência em de 38 anos em petroquímica.
ENTR2	MBA em Finanças e Marketing	Suprimentos e Trading	Compra de matérias-primas, importação de estireno e derivados. Com 13 anos de experiência no setor petroquímico.
ENTR3	Engenharia Química com MBA em Inteligência de Mercado	Inteligência de Mercado e Marketing	Com experiência na área de processos petroquímico e atuação na área de inteligência de Mercado. Atuando a 20 anos no setor petroquímico.
ENTR4	MBA em Finanças e Marketing	Assessor de Estratégia e Relações institucionais e Gerente de Marketing e Inteligência de Mercado	Experiência de 20 anos na área de planejamento estratégico e definições estratégicas do setor petroquímico
ENTR5	Engenharia Química com MBA em Vendas	Gerente Comercial	Com 16 anos de experiência atuando na área de vendas de Estireno

Fonte: Elaborado pelo autor.

- c) Desenvolvimento do questionário para entrevistas: optou-se por realizar entrevistas devido a questões de tempo e de logística. O uso de entrevistas nas etapas de construção da estrutura sistêmica e de validação do modelo já foi efetuado, sem prejuízo dos resultados, nos trabalhos de Hsiao, Peng e Huang (2012), Lamprinopoulou et al. (2014) e Trapp (2015). Segundo Gil (2010), entrevistas são uma das principais fontes de informação para pesquisas. Desse modo, nesta etapa optou-se por entrevistas semiestruturadas para obter informações de especialistas. Markoni e Lakatos (2011) trazem como vantagens da entrevista a melhora analítica, uma maior cooperação dos participantes e a facilidade de identificar mudanças pequenas.

O roteiro de entrevista da presente pesquisa foi elaborado após a revisão teórica da literatura selecionada, a fim de se obter informações

correlacionadas com a demanda de estireno no mercado nacional. O roteiro da entrevista é apresentado no Apêndice II.

- d) Aplicando as entrevistas: para cada um dos entrevistados, aplicou-se uma entrevista focal semiestruturada, guiada por um conjunto de perguntas, que se aproxima de uma conversa informal. O roteiro da entrevista, apresentado no Apêndice II, está focado na temática da demanda de estireno no mercado nacional. As perguntas foram desenvolvidas de modo a guiar o entrevistado a focar o mercado como um todo, identificando as influências completas que impactam de forma direta e indireta a demanda. Cada entrevista teve duração aproximada de 50 minutos, e foi gravada para se obter, posteriormente, um conjunto de variáveis-chave e conhecimento empírico sobre o setor analisado.
- e) Definição das variáveis-chave: as entrevistas foram ouvidas e analisadas até que se obtivesse compreensão aprofundada do teor de informações nelas contidas. Durante essa análise, foram selecionadas as variáveis mais lembradas pelos entrevistados durante as entrevistas. Como exemplos, pode-se citar a ligação existente entre o consumo de linha branca e o poliestireno e a importância da indústria automotiva para o mercado de elastômero e, conseqüentemente, para o de estireno. Dessa forma, as principais variáveis elencadas pelos entrevistados foram listadas e digitadas em uma planilha de Excel.
- e) Desenvolvimento da estrutura sistêmica: a etapa de construção da estrutura sistêmica foi dividida em subetapas:
- Coleta de dados: após as variáveis-chave serem listadas em uma planilha de Excel, as séries históricas dessas variáveis também foram pesquisadas e digitadas na planilha. As séries históricas foram pesquisadas em bancos de dados como IBGE, Banco Central do Brasil e em relatórios da Associação Brasileira da Indústria Química;
  - Padrões de comportamento gráfico: foram gerados gráficos com as variáveis e os dados, a fim de verificar o padrão de comportamento de cada variável ao longo do tempo analisado;

- Análise de correlação: em seguida, foi construída uma matriz de correlação de Pearson<sup>1</sup> entre as variáveis, com uso da função “CORREL” do Excel. Foram definidos, como correlação direta, valores maiores ou iguais a 0,7, e como correlação inversa valores menores que - 0,7 (HAIR et al., 2009);
- Construção da estrutura sistêmica: com a coleta de dados realizada e com os padrões de comportamento e as correlações das variáveis definidas, deu-se a construção da estrutura sistêmica.

A estrutura sistêmica foi construída com base nos padrões de comportamento e nas correlações. No entanto, o conhecimento empírico adquirido durante as entrevistas foi considerado na construção das relações causais entre as variáveis.

### 3.3.2 Fase II: Desenvolver o artefato de validação

Nesta fase, desenvolveu-se um conjunto de tarefas para estruturação dos dados e informações para a construção e validação do artefato de validação das regressões.

- f) Construção do modelo de validação: essa atividade constituiu-se por um conjunto de tarefas que possibilitou a elaboração do modelo, partindo do desenho da estrutura sistêmica e das relações oriundas das entrevistas realizadas. As tarefas foram divididas em subetapas, da seguinte forma:
- Diagrama de caminho<sup>2</sup>: teve o propósito de relacionar as variáveis dependentes com as independentes. O diagrama de caminho foi construído com base em fatores-chave extraídos das relações da estrutura sistêmica.

---

<sup>1</sup> O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa da relação e o valor sugere a intensidade da relação existente entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o valor de uma determinada variável pode ser verificado exatamente ao se saber o valor da outra. Ao contrário, uma correlação de valor zero sugere que não há relação linear entre as variáveis. (HAIR et al., 2009).

<sup>2</sup> Diagrama de caminho: Representação visual de um modelo e do conjunto completo de relações entre os construtos do modelo. Relações de dependência são representadas por setas retilíneas, apontando da variável preditora à variável ou construto dependente. (HAIR et al., 2009).

- Construção das regressões múltiplas: as regressões múltiplas objetivaram correlacionar as variáveis explicativas dependentes com as independentes. Para construção das regressões, utilizou-se o software estatístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Objetivando o melhor coeficiente de explicação das variáveis, empregou-se o método de busca sequencial *stepwise*<sup>3</sup>, que permite acrescentar ou eliminar variáveis de explicação até que as melhores sejam selecionadas. Para os testes estatísticos das regressões, foi adotado um valor alfa de 5% como critério de aceitação, e para atender os pressupostos das regressões utilizadas, foram realizados os testes de colinearidade, de normalidade e de Homocedasticidade<sup>4</sup>. No teste de colinearidade, foi empregado o Teste de *Tolerance* e o Valor VIF<sup>5</sup> (*Variance Inflation Factor*). Já no teste de Normalidade, foi adotado o teste de Shapiro-Wilk, com alfa de 5%. No teste de Homocedasticidade foi adotado o Pesarán-Pesarán<sup>6</sup>, sugerido por Corrar, Paulo e Dias Filho (2012).
- Modelo computacional para validação: nesta subetapa foram transcritas as relações do diagrama de caminho e das regressões para o software iThink, sendo gerado o modelo para validação e verificação das equações resultantes das regressões. O modelo para validação e verificação foi construído considerando como período de análise os anos de 2002 até 2013. O valor de demanda resultante gerado pelo modelo será comparado com a série histórica da demanda, validando, com isso, as equações.

---

<sup>3</sup> Stepwise: conhecido como método de regressão por passos, é o método no qual as variáveis independentes vão sendo inseridas e excluídas do modelo de regressão de acordo com a contribuição estatística significância apresentada para a inclusão de novas variáveis independentes ao modelo. (HAIR et al., 2009).

<sup>4</sup> Homocedasticidade: quando a variância dos termos de erro ( $\epsilon$ ) parece constante ao longo de um domínio de variáveis preditoras, diz-se que os dados são homoscedásticos. (HAIR et al., 2009).

<sup>5</sup> Fator de inflação de variância (VIF): indicador do efeito que as outras variáveis independentes têm sobre o erro padrão de um coeficiente de regressão. Valores de VIF até 1 – sem multicolinearidade; de 1 até 10 – com colinearidade aceitável; e acima de 10 – com multicolinearidade problemática. (HAIR et al., 2009).

<sup>6</sup> Teste de Pesarán-Pesarán: identifica a existência de heterocedasticidade com base nos resultados da regressão em que a variável dependente é o valor dos quadrados dos resíduos e a variável independente é o valor estimado da variável dependente original. Caso haja uma relação significativa entre as variáveis, rejeita-se a hipótese nula de ausência de heterocedasticidade. (CORRAR; PAULO; DIAS FILHO, 2012).

- g) Validação do modelo de dinâmica de sistemas de validação: validade significa adequação em relação a um propósito. A validação do modelo tem que ter componentes informais, subjetivos e qualitativos. Trata-se de um processo gradual de “construção de confiança”, ao invés de um binário aceitar e/ou rejeitar. (BARLAS,1996). Julgar a validade de um modelo, em última análise, envolve julgar a validade de sua finalidade. A análise e validação por parte de especialistas é a melhor e mais simples forma de validação qualitativa da estrutura interna do modelo, conforme sugerem diferentes autores. (BALCI,1994; SARGENT, 1994; PIDD, 1998; BARLAS,1996). Neste trabalho, foram apresentadas aos entrevistados as duas linhas de tendência, simulada e real. Não havendo discrepância significativa entre o modelo e o consumo real, o modelo foi, então, considerado válido.

A validação quantitativa do modelo constitui um passo muito importante na metodologia da dinâmica de sistemas. Para executar esse processo, foi utilizado o histórico de consumo de estireno durante o período de 2002 a 2013. Tal período foi definido em função de não haver séries históricas completas de períodos anteriores e posteriores. Assim, a fim de não prejudicar os resultados, adotou-se o período em questão.

De acordo com Barlas (1996) e Suryani et al. (2010b), um modelo é válido quando a taxa de erro for menor do que 5% (ver equações (1) e (3), em que  $\bar{U}$  representa a média do resultado da simulação e  $\bar{A}$  representa a média do dado histórico).

$$\text{Taxa de erro} = \frac{|\bar{U} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (1)$$

Onde

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \quad (2)$$

$$\bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i \quad (3)$$

Ainda na validação quantitativa, foi realizado o teste-*t*, sugerido por Freitas Filho (2008), para comparação das médias do modelo com a série

histórica dos dados. Para tanto, foi utilizado o coeficiente  $\alpha=0,05$  para validade do modelo no teste realizado em complemento à validação proposta por Barlas (1996) e Suryani et al. (2010a). Definiu-se utilizar o software *Ithink* da desenvolvedora *Isee System Inc* para construção e avaliação do modelo.

### 3.3.3 Fase III: Desenvolver o artefato de visualização, avaliar e concluir

A Fase III é o momento em que foi construído o artefato computacional para visualização. Além disso, foram definidos os cenários futuros e determinados os dados de entrada e saída do modelo.

- h) Construção do modelo computacional para visualização: o modelo para visualização, diferente do modelo de validação, tem como período de análise os anos de 2013 a 2033. Outro diferencial é que o modelo de visualização tem novas variáveis para atender aos requisitos dos cenários. No modelo de visualização ainda foi construída uma interface para facilitar a etapa de avaliação e aprendizagem dos entrevistados no período de avaliação do artefato.
- i) Aplicação do artefato de visualização e construção de cenários: o processo baseia-se na intuição de um grupo para identificar os principais fatores que impulsionam o sistema, em especial os que são significativamente incertos. (HEIJDEN, 2009). A construção de cenários foi realizada tendo como base o conceito apresentado por Schwartz (2000), sendo dividida nas subetapas que seguem:
  - Identificação dos eixos das incertezas: durante as entrevistas foram identificadas as incertezas críticas mais citadas pelos entrevistados. Após listadas, priorizou-se, com os entrevistados, quais iriam compor os eixos de incertezas, tendo como objetivo um cenário de 20 anos;
  - Definição dos eixos de incertezas: definiu-se, então, quais seriam os limites dos eixos de incerteza. No eixo de incerteza “uso de materiais substitutos”, para o nível alto foi adotado um valor médio de 1,5% ao ano, percentual previsto pelos autores dos artigos lidos sobre o uso de

materiais substitutos aos petroquímicos. Para o nível baixo, foi adotado um valor próximo a zero, considerando praticamente nula a utilização de materiais substitutos. Já no eixo PIB, embora o valor médio para o período tenha sido de 3,6% ao ano, foi proposto, pelos entrevistados e pesquisador, a utilização de um valor mais agressivo para o nível alto, a saber, 5% ao ano. Já para o nível baixo, o grupo definiu valores próximos à recessão, a saber, 0,01% ao ano.

- Montagem dos cenários: a montagem dos cenários seguiu a proposta de Schwartz (2000). Após a definição dos níveis de incertezas críticas, os cenários foram nominados, e criou-se um enredo diferente para cada um, de modo a retratar a situação.

A vantagem da construção de cenários foi a utilização deles como uma plataforma para trabalhar com variantes incertas definidas pelos entrevistados e, com isso, testar as suas viabilidades, tornando mais transparentes os dados que auxiliam nas decisões dos gestores.

- j) Visualização dos cenários com uso do artefato de visualização: após a construção dos cenários, foram realizadas distintas rodadas de simulação para o modelo, com base no cenário selecionado. Para facilitar a execução dos modelos de simulação, construiu-se uma interface em Excel para organizar os dados de entrada do modelo.

O período temporal de análise do estudo foi de 20 anos, conforme o planejamento estratégico, considerando-se tanto as refinarias quanto as petroquímicas de primeira e segunda geração. Sendo assim, o período simulado contempla os contratos de longo prazo entre as empresas de primeira e de segunda geração do setor.

Após a execução dos diferentes cenários, foram analisados os resultados e discutidos os efeitos, assim como definidas possíveis estratégias em caso de ocorrência de cada um dos cenários.

- k) Avaliação do artefato de visualização: conforme Dresch, Lacerda e Antunes (2014), os artefatos desenvolvidos com base na DSR devem evidenciar que podem ser utilizados para resolver problemas reais. Com essa finalidade, o artefato foi avaliado seguindo as seguintes atividades:

- Reunião de avaliação: os entrevistados foram reunidos com mais três convidados que exercem diferentes funções na empresa em que os entrevistados trabalham. O convite aos três convidados serviu para difundir o conhecimento dentro da empresa e para identificar possíveis melhorias no método por parte de pessoas que não participaram da construção do artefato;
- Uso do artefato de visualização: no modelo de visualização foi construída uma interface exclusiva para gerar aprendizagem ao grupo reunido. Foram realizadas alterações nos parâmetros do modelo e, então, os participantes foram questionados sobre qual seria o comportamento das variáveis de saída geradas para o cenário escolhido.

Essas atividades contribuíram para confrontar os modelos mentais dos participantes, gerando aprendizagem, e para que os participantes avaliassem a possibilidade de uso do artefato para resolver problemas reais.

#### **3.3.4 Fase IV: Desenvolver o artefato em XMILE, avaliar e concluir**

- l) Desenvolver o artefato XMILE: o artefato XMILE foi construído com base no modelo de validação das regressões. Após a validação das regressões, foi gerado um arquivo XML no iThink. Este arquivo foi salvo com extensão txt e utilizado para ser executado em outras plataformas compatíveis com o padrão XMILE.
- m) Avaliação do artefato em XMILE: inicialmente, foram comparados a linguagem de programação XML e os diagramas padrão do iThink, objetivando maior entendimento da linguagem utilizada. Em um segundo momento, visando avaliar o padrão XMILE, foram selecionados e estudados três diferentes softwares, conforme sugestão do principal idealizador do padrão XMILE (CHICHAKLY, 2007). O modelo foi avaliado quanto à facilidade de uso, com teste da importação do modelo XMILE de modo direto, sem a necessidade de ajustes no modelo. Ainda foram

analisados e comparados os resultados gerados pelos diferentes softwares.

Como objetivo das etapas de avaliação do modelo sob a ótica da DSR, os modelos são avaliados em termos de fidelidade ao mundo real, bem como de completude, de nível de detalhe e de robustez. (LACERDA et al., 2013). No decorrer do trabalho, foram executadas as diferentes Fases, com as respectivas etapas apresentadas no método de trabalho, a fim de se atingir os objetivos propostos.

## **4 CONSTRUÇÃO DO ARTEFATO PARA VISUALIZAÇÃO DE DEMANDA DE ESTIRENO**

Este capítulo está relacionado com as Fases I e II e com parte da Fase III do método de trabalho. Inicialmente, apresenta-se um breve descritivo do mercado em que a pesquisa está inserida, buscando contextualizar o ambiente em que o estudo foi realizado. No decorrer do capítulo, expõe-se um breve contexto dos novos materiais, os biopolímeros. Esses materiais estão sendo desenvolvidos para substituir os derivados de petroquímicos, que são oriundos de recursos não renováveis.

Na sequência, são descritos os passos realizados para a aplicação do método proposto, detalhando-se as atividades realizadas, com enfoque principal na construção do modelo e nos resultados obtidos. Com isso, busca-se obter subsídios para a avaliação do modelo gerado e para a proposição final do método, a ser realizada no Capítulo 5.

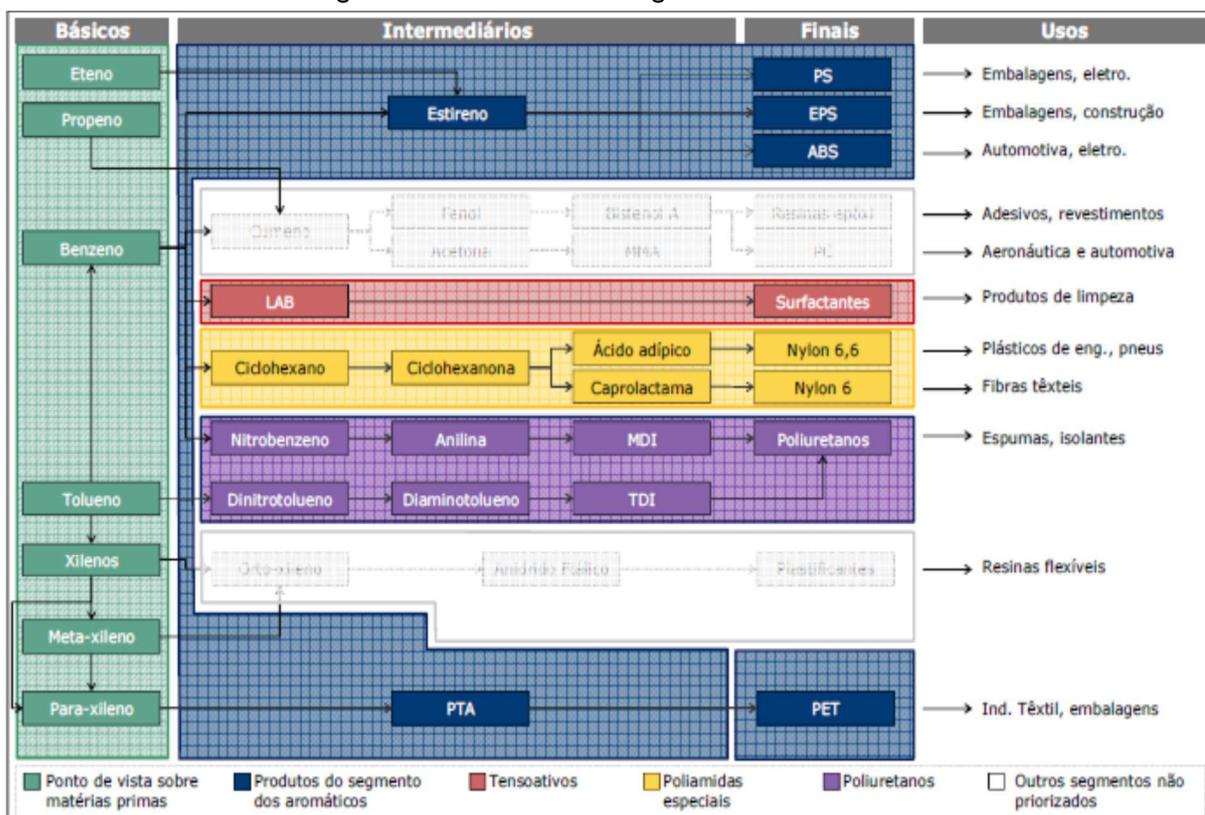
### **4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO MERCADO**

Nesta seção, é realizada uma breve descrição do mercado e de seus principais derivados, com o intuito de contextualizar o ambiente no qual a pesquisa foi realizada. Observa-se que não há ambição de abordar os temas na sua totalidade.

#### **4.1.1 O mercado brasileiro de Estirênicos**

O estireno faz parte de um dos segmentos da cadeia de aromáticos, e abrange produtos intermediários como os polímeros poliestireno (PS), o poliestireno expansível (EPS) e o acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS). O ABS ainda não é produzido em empresas brasileiras. Na Figura 12, está ilustrada a cadeia petroquímica, e localizado o posicionamento do estireno dentro de tal cadeia.

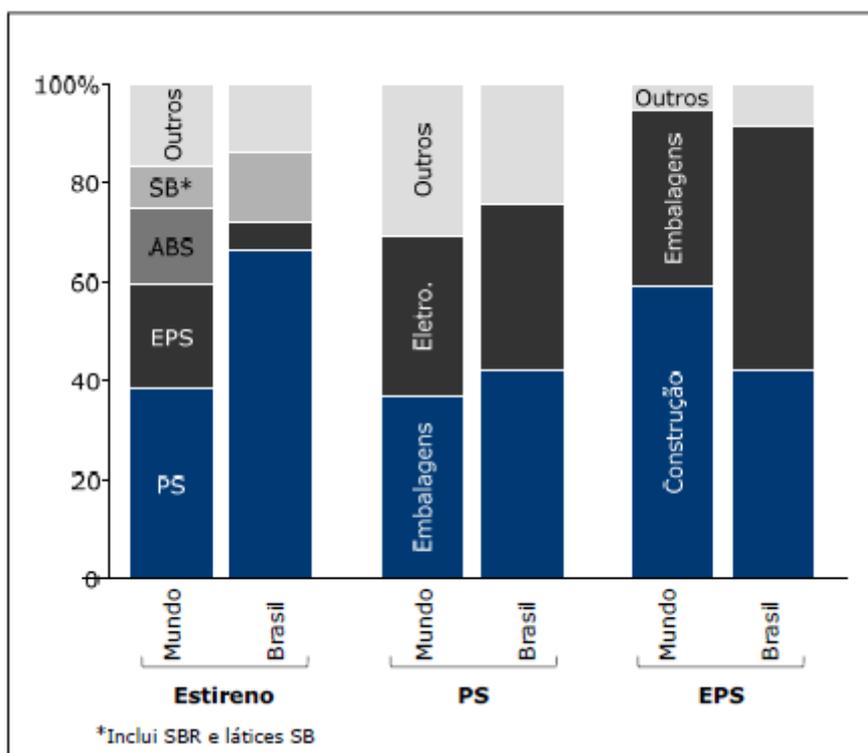
Figura 12: Produtos de segmentos aromáticos



Fonte: BNDES (2014).

O estireno é um hidrocarboneto aromático, cuja polimerização origina ao PS e ao EPS. O poliestireno (PS) é uma resina do grupo dos termoplásticos, que é facilmente moldável sob a ação do calor. O poliestireno expansível (EPS), conhecido pelo nome comercial de Isopor®, é uma espuma semirrígida constituída por um aglomerado de grânulos, muito usada devido à leveza e capacidade de isolamento térmico. A Figura 13, a seguir, exhibe os principais usos finais dos principais derivados de estireno.

Figura 13: Uso final por produto – Mundo e Brasil (% ton, 2013)



Fonte: BNDES (2014).

A demanda brasileira por estireno depende do crescimento dos setores domésticos que o utilizam em seus processos produtivos. As perspectivas para os principais setores consumidores são detalhadas a seguir.

#### 4.1.2 Eletrodomésticos e eletrônicos

O setor de eletrodomésticos é combinado pelos subsetores “linha branca” (fogões, refrigeradores, *freezers*, lavadoras de roupas, secadoras, condicionadores de ar e fornos de micro-ondas) e “linha marrom” (televisores, aparelhos de som, DVDs e *home theaters*). O segmento de eletrônicos é composto por equipamentos de informática, de telecomunicação e de automação, bem como por outros produtos com características semelhantes de uso e/ou fabricação. Segundo especialistas, esses setores representaram entre 40% e 50% da demanda doméstica por PS em 2013.

Segundo o IBGE (2015), entre 2002 e 2013 a produção física brasileira de eletrodomésticos teve crescimento anual médio de 4,2%, enquanto que a produção

de eletrônicos cresceu, em média, 2,9% ao ano. Segundo estudo do BNDES (2014), essa diferença tem explicação nas dinâmicas de mercado de cada setor:

- a) A indústria Brasileira de eletrodomésticos possui barreiras elevadas, em função do reduzido valor agregado de seus produtos em relação aos eletrônicos. Além disso, subsídios fiscais na Zona Franca de Manaus e a redução do IPI, realizada pelo governo federal em 2011, estimularam a produção doméstica e o consumo.
- b) Os eletrônicos, por sua vez, sofrem maior competição em função de importações, de elevado valor agregado e do conteúdo tecnológico dos produtos.

Conforme relatório publicado pelo BNDES (2014), calcula-se que a produção doméstica de eletrodomésticos terá um crescimento de aproximadamente 4,0% ao ano entre 2012 e 2030. Assim, a demanda por derivados de estireno terá um aumento significativo para atender o crescimento desse setor.

#### **4.1.3 Embalagens**

O setor de embalagens é de grande importância para os derivados de estireno como o PS e o EPS. Segundo a ABIQUIM (2013), esse setor foi responsável por 44% da demanda doméstica por EPS em 2011, sendo que 93% do EPS foi empregado em embalagens destinadas ao acondicionamento de eletrodomésticos. Segundo estudo do BNDES (2014), com a projeção histórica da produção de eletrodomésticos, o segmento de embalagens de EPS deve crescer 4,0% ao ano entre 2012 e 2030 para acompanhar a demanda dos eletrodomésticos.

O PS é usado para fabricar embalagens descartáveis, tais como bandejas espumadas para alimentos, embalagens de iogurte e copos plásticos. Segundo especialistas, em curto prazo, não há expectativa nem de novas utilizações e nem de perda de mercados para outros materiais. Assim sendo, o consumo doméstico de embalagens de PS deve continuar crescendo, porém com taxas menores do que as de crescimento do PIB. (BNDES, 2014).

#### 4.1.4 Construção civil

Conforme o relatório divulgado pela Abiquim (2013), 36% da demanda de EPS do mercado brasileiro corresponde ao segmento da construção civil, sendo o material empregado na construção de blocos, lajes e painéis. O EPS concorre com lajotas cerâmicas e com estruturas já consagradas na construção civil, porém, apresenta grande vantagem no tocante a questões como tempo de construção, peso e custo total.

O setor de construção civil representou entre 40 e 45% da demanda doméstica por EPS em 2012. (BNDES, 2014). Ainda segundo o relatório divulgado pelo BNDES (2014), o faturamento do setor de construção civil cresceu a uma taxa média anual de 3,8% no Brasil entre 2002 e 2012, número que deve ser mantido entre 2012 e 2030.

Ainda na construção civil, o estireno tem importante aplicação no mercado de resinas acrílicas, mais precisamente na produção de tintas. O setor de tintas é de grande representatividade para o mercado brasileiro. Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAFATI)<sup>1</sup>, o Brasil é um dos cinco maiores mercados de tintas, e o faturamento líquido do setor, em 2013, foi de 4,175 bilhões de dólares. Ainda conforme a ABRAFATI, um diferencial do setor é que os grandes fornecedores mundiais de matérias-primas e insumos para tintas são nacionais. Somente as tintas imobiliárias, empregadas diretamente na construção civil, representam cerca de 80% do volume total e de 62% do faturamento. Isso mostra a importância do segmento acrílico dentro da construção civil.

#### 4.1.5 Setor automotivo

O setor automotivo é ligado à produção local de automóveis, caminhões e ônibus e reúne, também, as fornecedoras de autopeças. A demanda nacional por estireno está relacionada com a produção doméstica de automóveis.

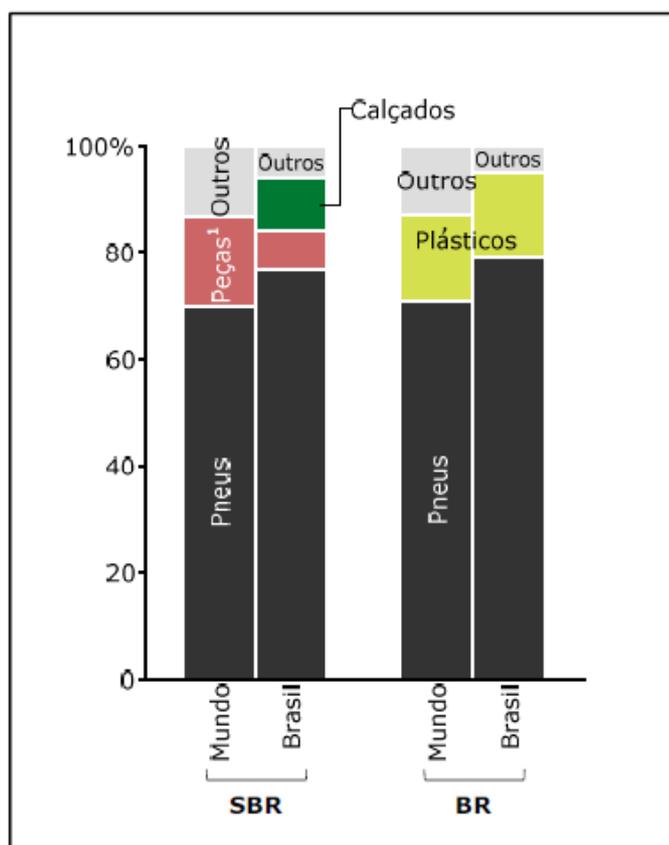
O estireno é matéria-prima na produção da borracha sintética estireno-butadieno (SBR), usada na manufatura de pneus. Segundo a Abiquim (2013), a

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.abrafati.com.br/indicadores-do-mercado/numeros-do-setor/>. Acesso em: 07/10/2015.

fabricação de pneus representou 77% da demanda doméstica de SBR que, por sua vez, representou 9% da demanda por estireno, como pode ser visualizado na Figura 14:

Figura 14: Uso final por produto – Mundo e Brasil (% em massa, 2013)



Fonte: BNDES (2014).

A demanda nacional por pneus em veículos e motocicletas novos depende da produção local desses bens. Entre 2000 e 2013, o setor automotivo atendeu de 80% a 90% da demanda nacional. Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA)<sup>2</sup>, a produção nacional continuará a atender pelo menos 80% da demanda futura de veículos no país. Com isso, o consumo de SBR seguirá a tendência, influenciando a demanda por estireno.

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario.html>. Acesso em: 07/10/2015.

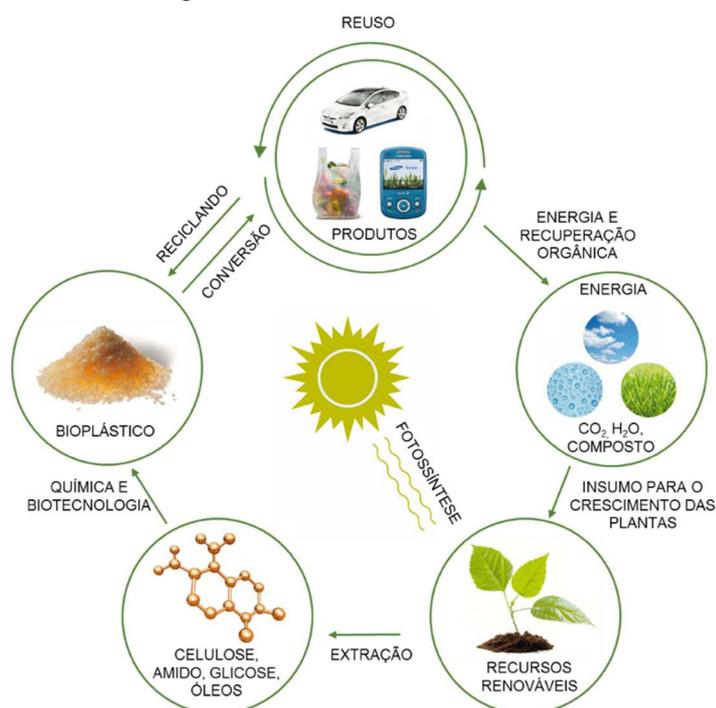
## 4.2 MATERIAIS SUBSTITUTOS DE RESINAS PETROQUÍMICAS

Devido às preocupações em relação a questões ambientais e de sustentabilidade, este século tem assistido a melhorias notáveis em materiais “verdes” no campo da ciência dos polímeros, por meio do desenvolvimento de biocompósitos. O termo bioplásticos diz respeito a um plástico produzido a partir de uma bio-fonte, enquanto o termo biodegradável se refere a um material que pode ser degradado de forma relativamente rápida, por micróbios, em um ambiente bioativo, sob condições adequadas. (SOROUDI; JAKUBOWICZ, 2013; GURUNATHAN et al, 2015).

Um problema que tem atraído a atenção de órgãos ambientais é a questão da poluição dos oceanos. Em maio de 1997, em apenas 30 minutos, foram coletadas 1069 peças de plástico, o equivalente a 580 peças por Km<sup>2</sup> na localidade de Gyre, no Atlântico Norte dos Estados Unidos da América. Nos EUA, em 2010, somente 8,2% do plástico produzido foi recuperado. Essa realidade impõe um problema sério, pois os espaços a serem utilizados como aterros sanitários são finitos e, com isso, há pressão constante para a redução do uso de plástico. (PHILP et al., 2013).

A crescente consciência ecológica e ambiental em concomitância com a atenção em relação à emissão de gases de efeito estufa e as questões das flutuações dos preços do petróleo bruto, tem incentivado esforços para o desenvolvimento de materiais inovadores com diferentes aplicações de uso final. Esses materiais químicos inovadores, de base biológica, derivados de recursos renováveis e sustentáveis, têm o mesmo, se não melhor, desempenho e processabilidade das contrapartes à base de petróleo. A Figura 15 mostra o principal modelo aplicado na produção de bioplásticos. (GURUNATHAN et al., 2015); (COUSINET et al., 2015).

Figura 15: Modelo de ciclo de vida

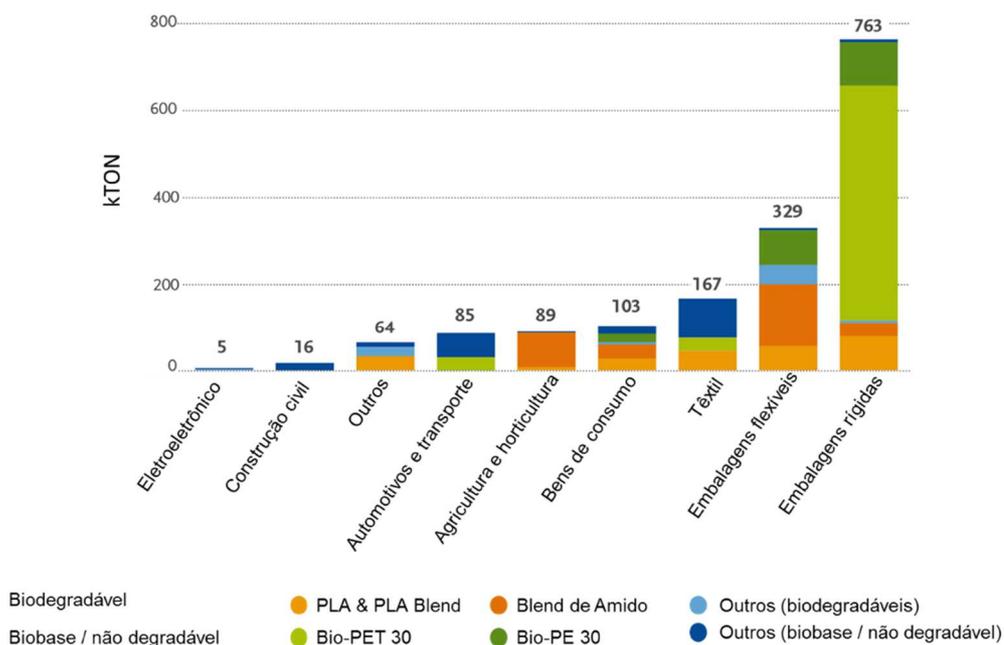


Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de *European Bioplastics* (2014).

Para que seja possível a produção de materiais alternativos, barreiras agrícolas e comerciais devem ser superadas e, ainda, deve se estabelecer uma cadeia de abastecimento viável. Em particular, o preço, as características da fibra e a qualidade podem variar substancialmente, dependendo das condições de cultivo e das políticas agrícolas. (SUMMERSCALES et al., 2010).

O mercado de biopolímeros e biocompósitos está crescendo rapidamente. De acordo com a *European Bioplastics* (2014), a capacidade de produção de bioplásticos deverá aumentar de aproximadamente 1,7 kTon toneladas em 2010, para 7 kTon até 2015. O gráfico 2 mostra a produção de bioplásticos por segmento no ano de 2013.

Gráfico 2: Produção global de bioplásticos por segmento em 2013



Fonte: *European Bioplastics* (2014).

Plásticos biodegradáveis têm dominado o mercado de bioplásticos com uma quota de aproximadamente 90%. No entanto, plásticos duráveis com base em recursos renováveis estão previstos para aumentar a sua quota de mercado de 10%, em 2010, para cerca de 50% em 2018. (PHILP et al., 2013).

Materiais plásticos reforçados de fibras naturais têm sido introduzidos na produção de veículos há mais de duas décadas. A Mercedes Benz abriu precedente em 1994 por ter usado composto natural com plástico reforçado para os painéis internos das portas do seu veículo *E-Class*. Fibras naturais como cânhamo são utilizadas em razão de apresentarem fibras fortes e longas. O uso mais comum tem sido na forma de fibra de vidro, especialmente para itens internos do automóvel, como painéis das portas e repartições internas. (MARSH, 2003).

Os fabricantes e fornecedores que adotaram compostos naturais perceberam benefícios como grande resistência, propriedades mecânicas, resistência ao fogo, absorção de água e durabilidade. Além disso, observaram isolamento acústico, melhora na saúde dos trabalhadores, produção rápida por compressão ou moldagem por injeção e, potencialmente, menor custo. Um dos benefícios mais importantes, contudo, é a diminuição dos impactos ambientais. (MARSH, 2003; SUMMERSCALES et al., 2010). Segundo Summerscales et al. (2010), os compostos

naturais já são comparáveis aos materiais consolidados como os para-aramidas e podem, potencialmente, reduzir o peso de um automóvel em até 40%.

Apesar das grandes melhorias atuais em fibra de vidro, sabe-se que estão no início de seu ciclo de evolução, tendo grande margem para melhorias. No mercado de Estirênicos, no entanto, a situação é delicada, pois o estireno é altamente volátil e recentemente foi identificado como um perigoso poluente de ar pela agência de proteção ambiental. Além disso, foi classificado como carcinogêneo humano pelo Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos EUA por meio do Programa Nacional de Toxicologia. (MEIORIN; MOSIEWICKI; ARANGUREN, 2013).

Como alternativa ao uso de estireno, o Óleo de Tunge tem sido amplamente utilizado na indústria de tintas e vernizes como substituto. (MEIORIN; MOSIEWICKI; ARANGUREN, 2013). Fibras lignocelulósicas como linho, cânhamo, banana e óleo de palma têm atraído atenção considerável como substitutos de fibras sintéticas, como fibras de vidro e de carbono. O estireno tem uma ampla aplicação nas fibras sintéticas como resinas de poliéster. (MEIORIN; MOSIEWICKI; ARANGUREN, 2013). Além disso, a espuma derivada do amido tem propriedades semelhantes às da espuma de PS produzida industrialmente por processo de extrusão. (GURUNATHAN et al., 2015). De acordo com Gurunathan et al. (2015), as espumas de amido podem ser empregadas para substituir os produtos PS, especialmente para uso em embalagem.

Espera-se um aumento na produção de materiais a partir de matérias-primas renováveis de 18% em 2020 e de aproximadamente 25% em 2030. Em anos anteriores, esse acréscimo foi de 5% (2004) e de 12% (2010). Há expectativa de que dois terços dos US\$ 1,5 trilhões anuais de recursos disponíveis nas indústrias globais sejam, eventualmente, baseados em recursos renováveis. (GURUNATHAN et al., 2015). Nessa mesma linha, o governo japonês implantou uma diretiva que exige que 20% de todos os plásticos usados no Japão devem ser bio-derivados até 2020. (GURUNATHAN et al., 2015).

A exploração de biocompósitos em várias aplicações abriu caminho para acadêmicos, bem como para indústrias, no sentido de possibilitar a fabricação de compostos sustentáveis de biocompósitos. Portanto, fibras naturais de biocompósitos reforçados podem ser consideradas alternativas válidas e mesmo superiores a compósitos de fibras sintéticas, devido à possibilidade de serem transformadas em adubos, servindo como solução eficaz ao problema de eliminação de resíduos de

materiais à base de polímero. (MEIORIN; MOSIEWICKI; ARANGUREN, 2013; GURUNATHAN et al., 2015).

Após essa breve abordagem sobre a utilização de novos materiais substitutos dos derivados químicos e petroquímicos, apresentam-se as próximas etapas deste trabalho. Na próxima seção, evidencia-se a construção do artefato, conforme o método de trabalho proposto.

### 4.3 CONSTRUÇÃO DOS ARTEFATOS

As etapas descritas a seguir, relacionam-se com as Fases I e II e com parte da Fase III do método de trabalho. Nos próximos subcapítulos, serão detalhadas as etapas desenvolvidas para a construção do artefato.

#### 4.3.1 Desenvolvimento das entrevistas

Primeiramente, com o intuito de um maior entendimento do problema de pesquisa, analisaram-se artigos que abordavam o assunto da visualização de demanda e a necessidade de uma alternativa aos métodos tradicionais de previsão de demanda. Os métodos tradicionais normalmente falham quando há rupturas inesperadas no ambiente em que estão inseridos. Também se buscaram informações para entender as influências da situação econômica no mercado de estireno e de seus derivados. Essa primeira parte foi realizada com o intuito de se ter um embasamento teórico para melhor entender o mercado de estireno.

Após a revisão da literatura, verificou-se a necessidade de uma nova abordagem no que tange às questões relativas à demanda e ao futuro do setor de estireno. Nessa abordagem, a dinâmica de sistemas, juntamente com o planejamento de cenários, surge como alternativa às técnicas usuais de previsão de demanda.

Assim, seguindo a lógica proposta por Schwartz (2000), foram definidos possíveis entrevistados para auxiliar na construção do artefato. Inicialmente, realizou-se contato telefônico com os possíveis entrevistados, a fim de verificar a possibilidade de participarem da pesquisa, bem como o seu alinhamento ao tema a ser estudado. Após o aceite dos entrevistados, agendaram-se, com eles, as entrevistas. Com esses passos definidos, realizou-se a construção do questionário de entrevistas.

O questionário foi elaborado com base na revisão da literatura, que serviu como um instrumento guia para a condução das entrevistas. O próximo passo foi realizar as entrevistas. Estas foram efetivadas em dias distintos, devido à dificuldade de reunir os entrevistados em um mesmo momento. Com o intuito de facilitar a compreensão do conteúdo e a posterior análise, as entrevistas foram gravadas.

Antes e durante as entrevistas, os entrevistados demonstraram interesse no tema e mostraram-se alinhados no entendimento das questões que tangem o consumo por derivados de estireno e suas aplicações. Vale salientar a experiência e o conhecimento empírico dos entrevistados no mercado de estireno, o que contribuiu de forma significativa para a condução do trabalho. No entanto, dos cinco entrevistados, somente dois mostram ter percepção quanto às influências externas provocadas por órgãos ambientais e em relação à ameaça de produtos substitutos aos petroquímicos. Por serem derivados do petróleo e não renováveis, esses recursos são passíveis de pressões por parte de órgãos ambientais e de institutos de saúde, que inclusive consideraram o estireno como carcinogênico. (MEIORIN; MOSIEWICKI; ARANGUREN, 2013).

Os modelos mentais dos entrevistados, em sua maioria, seguiram um padrão de comportamento alinhado ao fato de que o estireno é uma matéria-prima de grande utilidade e de baixa substituição. As entrevistas foram importantes para a condução desta pesquisa, pois serviram para definir que eixos de incertezas seriam utilizados na construção dos cenários. Ainda com base nas entrevistas, foram definidas as variáveis-chave e suas correlações para posterior construção da estrutura sistêmica.

Durante a etapa de interpretação dos resultados das entrevistas, foram selecionadas as variáveis mais lembradas pelos entrevistados. Essas variáveis foram definidas como variáveis-chave. Juntamente com a identificação das variáveis-chave, buscou-se averiguar as relações de causa e efeito que foram utilizadas para construir as relações causais da estrutura sistêmica. São exemplos das variáveis-chave: Produto interno bruto (PIB), índice de produção da linha branca com base no ano de 2002, número de veículos produzidos, índice da construção civil com base no ano de 2002 e índice de venda de móveis e eletrodomésticos com base no ano de 2002.

As entrevistas foram importantes para definir que incertezas críticas deveriam ser consideradas para a construção dos cenários futuros. No decorrer das entrevistas, perguntou-se: “Quais seriam, na sua opinião, as incertezas críticas sobre os cenários

futuros na demanda de estireno do mercado Brasileiro?” Para a construção dos cenários, foram selecionadas as duas respostas que mais apareceram.

As variáveis-chave foram, então, digitadas em uma planilha Excel, e posteriormente foram coletadas as respectivas séries históricas para a construção da estrutura sistêmica, como mostra o próximo subcapítulo.

### 4.3.2 Desenvolvendo a estrutura sistêmica

Nesta etapa, será elaborada a estrutura sistêmica que servirá de base para a construção do modelo de dinâmica de sistemas. Nas próximas subseções, serão detalhadas, pois, as etapas de construção da estrutura sistêmica.

#### 4.3.2.1 Atividade de Coleta de Dados

Os dados referentes aos padrões de comportamento das variáveis-chave foram colocados em uma planilha, conforme mostra a Figura 16, um extrato exemplificando as principais variáveis-chaves:

Figura 16: Extrato da planilha para coleta de dados

Nome Variável	Unidade	2002	2003	2004
1 - PIB - Percentual	Percentual	2,70	1,10	5,70
2 - Dólar - R\$	R\$	3,53	2,89	2,65
3 - Barril de petróleo - \$/b	\$/b	26,18	28,10	36,05
4 - Inflação - Percentual	Percentual	12,53	9,30	7,60
5 - PS - kTon	kTon	356,62	309,14	347,37
6 - SBR - kTon	kTon	205,96	225,38	236,11
7 - EPS - kTon	kTon	41,00	41,00	50,00
8 - Estireno - kTon	kTon	487,99	474,10	538,37
9 - ABS - kTon	kTon	30,48	40,67	48,19
10 - Salário mínimo - R\$	R\$	200,00	240,00	260,00
11 - Taxa de desemprego - %	%	12,60	12,30	11,40
12 - Evolução da carga tributária brasileira em relação ao PIB - % PIB	% PIB	32,64	32,53	33,49
13 - Repasse do BNDS para as empresas - R\$ Bilhões	R\$ Bilhões	38.200,00	35.100,00	40.000,00
14 - Consumo de energia elétrica - Brasil - Total - GWh	GWh	24.156,00	25.083,00	26.452,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Cada uma das variáveis está listada na primeira coluna com um número identificador sequencial e com seu nome. Na primeira linha, foram colocados todos os valores dentro do horizonte de tempo de análise, sendo uma coluna para cada

ano. Além do valor anual de cada variável, foi disposta uma coluna com a unidade de cada variável pesquisada. O período de coleta de dados foi definido entre 2002 e 2013. Essa definição ocorreu por haver séries com dados incompletos, o que poderia prejudicar a análise.

#### 4.3.2.2 Análise dos padrões de comportamento

Após a elaboração da tabela ilustrada na Figura 16, foram construídos os gráficos de padrão de comportamento. Esses gráficos foram representados por linhas suavizadas. Abaixo, na Figura 17, pode ser visto um exemplo de uma das variáveis com o respectivo padrão de comportamento. O exemplo mostra a variação do preço do barril de petróleo ao longo do tempo em estudo.

Figura 17: Exemplo de padrão de comportamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

O principal objetivo dessa etapa é o conhecimento gerado sobre as variáveis. Nessa perspectiva, são importantes os padrões que a curva apresenta ao longo do tempo, já que o objetivo da modelagem é o aprendizado e não a previsão do

desempenho do sistema. Essa visão é compartilhada por diversos autores da aprendizagem organizacional, incluindo especialistas em modelagem:

Os autores (Morecroft e Sterman) compartilham uma visão 'moderna' de modelagem. Modelos deveriam capturar o conhecimento e os dados mentais dos planejadores de ação; modelos deveriam misturar mapeamento qualitativo com álgebra e simulação amigáveis; modelos podem ser pequenos; seu propósito é apoiar o raciocínio e o aprendizado em equipe; eles encorajam o pensamento sistêmico e o planejamento de cenários. (MORECROFT; STERMAN, 1994, p. xvii apud ANDRADE, 1997).

Na Figura 17, vê-se que o gráfico representa o padrão de comportamento esperado, pois no ano de 2008 ocorreu uma crise econômica mundial.

#### 4.3.2.3 Análise de correlação

Após a coleta dos dados das séries históricas, foram calculadas as correlações pareadas entre cada variável. Para tanto, foi utilizada a função “CORREL” do Excel, que fornece o coeficiente de correlação de Pearson, ou seja, identifica a existência de correlação linear entre as variáveis. Essa análise de correlação serviu de subsídio para construir a estrutura sistêmica. Um extrato da tabela de correlação é apresentado na Figura 18, onde as células com coeficiente de correlação superior a 0,7, em módulo, estão assinaladas, sendo que as verdes apresentam as relações diretas e as vermelhas identificam as relações inversas.

Figura 18: Extrato da tabela de correlação

	1 - PIB - Percentual	2 - Dólar - R\$	3 - Barril de petróleo - \$/b	4 - Inflação - Percentual	5 - PS - kTon	6 - SBR - kTon	7 - EPS - kTon	8 - Estireno - kTon	9 - ABS - kTon	10 - Salário mínimo - R\$	11 - Taxa de desemprego - %
1 - PIB - Percentual	1,00										
2 - Dólar - R\$	(0,26)	1,00									
3 - Barril de petróleo - \$/b	(0,06)	(0,38)	1,00								
4 - Inflação - Percentual	(0,16)	0,82	(0,45)	1,00							
5 - PS - kTon	0,18	(0,41)	0,83	(0,38)	1,00						
6 - SBR - kTon	(0,16)	(0,11)	0,69	(0,12)	0,64	1,00					
7 - EPS - kTon	(0,18)	(0,33)	0,93	(0,36)	0,86	0,83	1,00				
8 - Estireno - kTon	0,01	(0,30)	0,87	(0,37)	0,95	0,65	0,88	1,00			
9 - ABS - kTon	0,05	(0,37)	0,95	(0,40)	0,87	0,71	0,91	0,93	1,00		
10 - Salário mínimo - R\$	(0,23)	(0,28)	0,93	(0,38)	0,89	0,80	0,97	0,92	0,93	1,00	
11 - Taxa de desemprego - %	0,15	0,54	(0,85)	0,50	(0,61)	(0,61)	(0,89)	(0,66)	(0,77)	(0,83)	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

De maneira simplificada, a análise de correlação verifica estatisticamente o grau de inter-relação entre todos os pares de variáveis. Comparando todas as variáveis versus todas as variáveis, a ferramenta estatística analisa o quanto os gráficos são semelhantes. Quanto mais semelhantes são os padrões, maior será o chamado índice de correlação.

#### 4.3.2.4 Construção da estrutura sistêmica

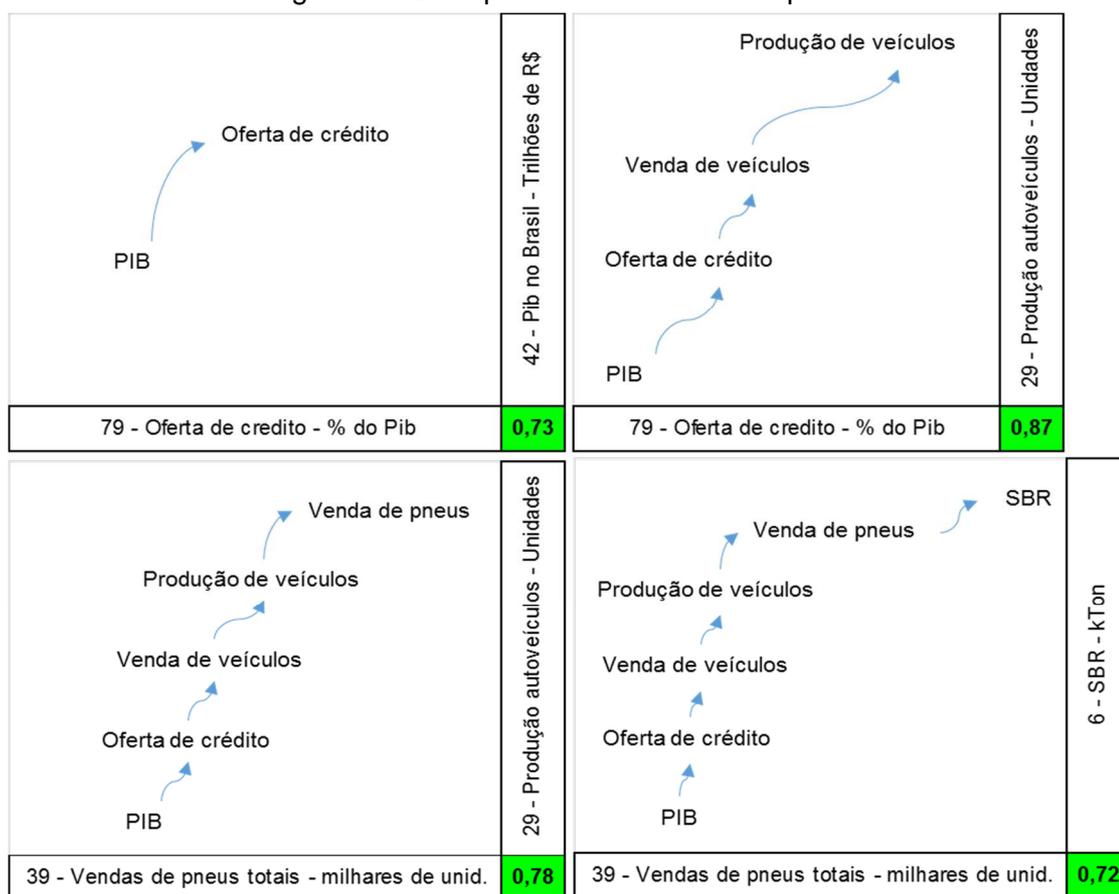
Conforme Andrade (2014), existem diferentes modos de construção da estrutura sistêmica, a saber, por arquétipos, por padrões de comportamento ou por análise de correlação. Neste trabalho, a estrutura sistêmica será construída com base na análise de correlação. A tendência de padrões de comportamento ao longo do tempo pode ser facilmente observada visualmente. Porém, isso pode ser muito trabalhoso e, dessa forma, a análise de correlação auxilia na identificação das correlações.

Andrade (2014) propõe três condições para que exista correlação e para que as correlações possam ser incluídas em uma estrutura sistêmica:

- a) Existem relações de influência entre as variáveis, de modo que a variável A pode estar influenciando a variável B, ou vice-versa ou, ainda, ambas podem influenciar-se mutuamente. Nesse caso, incide relação de causa-e-efeito entre as variáveis A e B. Como exemplo, o autor cita que se a intensidade dos ventos se elevar, isso influencia a velocidade de deslocamento dos veleiros em uma regata. Ou ainda, na economia, quando os preços de alguns produtos sobem, eleva-se a inflação, o que provoca um receio no mercado por mais elevação, induzindo a mais aumento de preços de maneira preventiva, e mais inflação, e assim sucessivamente;
- b) Não existe relação de causa-e-efeito entre A e B, porém ambas as variáveis estão sendo influenciadas por uma terceira variável em comum, a C, que afeta ambas de maneira análoga. Por exemplo, os preços de produtos agrícolas, como tomates e batatas, podem eventualmente seguir um mesmo padrão de comportamento. Isso ocorre não porque um influencia o outro, mas porque ambos são influenciados por variáveis em comum, como condições climáticas, custo dos insumos ou condições logísticas;
- c) A relação é apenas uma coincidência. A quantidade de pragas nas plantações de determinado país africano e o número de atentados terroristas nas embaixadas ocidentais dos países africanos podem ter comportamento igual, mas uma variável não afeta a outra, e tampouco elas possuem causas comuns.

Segundo Andrade (2014), essas três condições são de grande importância, pois auxiliam a construção da estrutura sistêmica. Na Figura 19, é apresentado um extrato da estrutura sistêmica parcial, com uso da análise de correlação existente entre as variáveis.

Figura 19: Exemplo estrutura sistêmica parcial



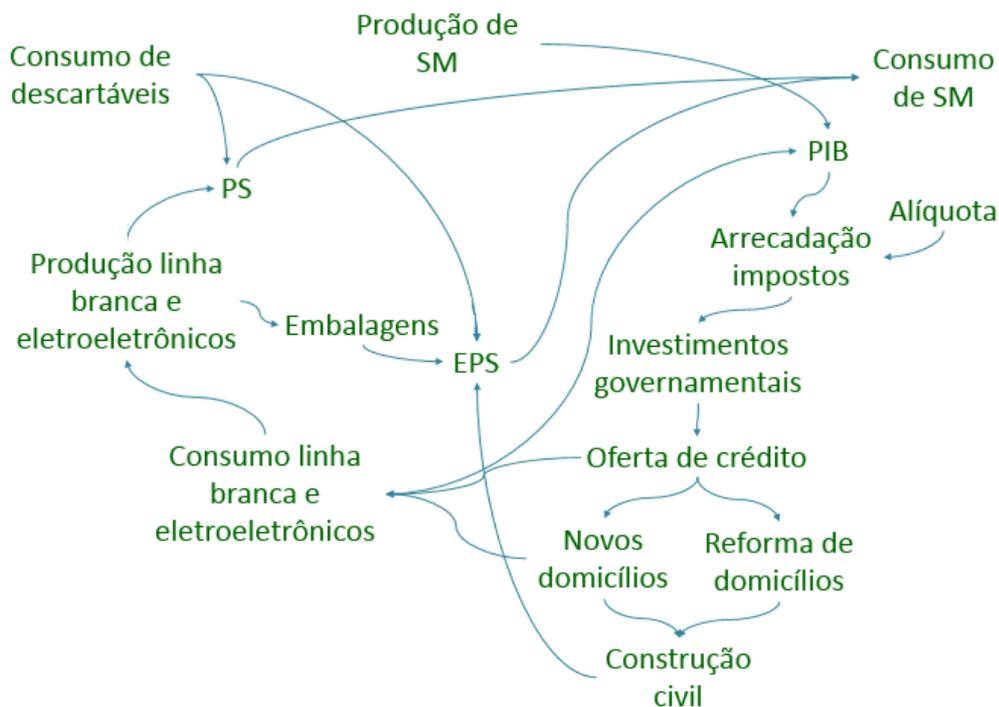
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos padrões de comportamento, das correlações existentes entre as variáveis e do conhecimento empírico gerado nas entrevistas, iniciou-se a construção da Estrutura Sistêmica (ES) para expor a situação de interesse. A ES foi construída gradativamente, sempre com base nas variáveis e setores com maior repetição e relevância definidos pelos diferentes entrevistados. Seguindo esse princípio, a construção da ES foi dividida em setores, de acordo com a temática. Para um melhor entendimento, ela também será apresentada seguindo tais divisões. Os setores que compõem a ES são: a) Resinas de poliestireno (PS); b) Resina de poliestireno expandido (EPS); c) Resinas acrílicas e poliéster; d) Resinas de elastômeros (SBR); e e) Competitividade do estireno (SM).

O primeiro setor, resinas de poliestireno, é apresentado na Figura 20, onde as variáveis estão relacionadas com o consumo de poliestireno. O consumo do poliestireno é influenciado, basicamente, por dois grandes mercados: embalagens e descartáveis e linha branca e eletroeletrônicos. Segundo relatório divulgado pela

Maxiquim (2014), esses dois setores representam um consumo de aproximadamente 75% da demanda de poliestireno do mercado brasileiro.

Figura 20: ES representando o consumo de poliestireno



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segmento da Linha Branca é intensivo em pintura e injeção de plástico. Como principais produtos dessa linha, podem ser citados lavadoras, refrigeradores, *freezers* e ar condicionado. Na Figura 20 pode ser visto que a linha branca está ligada diretamente à oferta de crédito, já que há incentivo para o consumo de produtos eletroeletrônicos e, conseqüentemente, aumento na demanda por esses produtos.

O setor de resina de EPS é fortemente influenciado pelo consumo de embalagens, que são usadas principalmente para proteger os produtos da linha branca e eletroeletrônicos. Os setores de embalagens e construção civil são os principais consumidores dessa resina. Na Figura 21 é possível observar as principais variáveis relacionadas ao consumo de EPS na estrutura sistêmica.

Figura 21: ES Representando o consumo de poliestireno expandido (EPS)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na construção civil o EPS tem sido utilizado, segundo um dos grandes produtores da resina<sup>3</sup>, como isolante térmico, na estabilização de solo, em lajes e como isolante acústico, contribuindo para a redução de custos e a diminuição do tempo de construção. O EPS tem aplicação diversificada em diferentes produtos que exigem proteção contra impacto, vibrações e variação térmica na sua acomodação, transporte e armazenagem, contribuindo para a redução de custos e para o aumento da eficácia do processo de transporte e armazenamento de produtos.

Os setores de resinas acrílicas e de poliéster são muito diversificados, sendo tais produtos empregados, na forma de fibras sintéticas, na construção de veículos e na indústria náutica. Porém, segundo o relatório da Maxquim (2014), o principal consumidor dessas resinas é a construção civil, que representou um consumo de aproximadamente 62,7% do total produzido no ano de 2013. Na Figura 22, são expostas as principais relações sistêmicas envolvidas no consumo de resinas acrílicas e de poliéster.

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.termotecnica.ind.br/construcao-civil/>. Acesso em: 18/09/2015.

Figura 22: ES representando o consumo de resinas acrílicas e de poliéster



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Maxiquim (2014), em 2013 a resina acrílica teve o consumo dividido, em média, da seguinte forma: 56% como tinta imobiliária, 13% na indústria em geral, 6% em tintas automotivas e 25% em outras aplicações. O setor de resinas de elastômeros, cujo principal derivado é a Borracha Butadieno Estireno (SBR), tem ampla aplicação no setor automotivo. Em tal indústria, conforme o relatório da Maxiquim (2014), em 2013 o SBR foi utilizado em: fabricação de pneus (78%), autopeças (7%), artefatos de borracha (4%) e outras aplicações (11%). Na Figura 23 são apresentadas as principais relações sistêmicas existentes no consumo de SBR.

Figura 23: ES consumo de elastômero SBR



Fonte: Elaborado pelo autor.

O consumo de SBR está fortemente interligado com a indústria automotiva, tanto na produção de veículos novos quanto em peças de reposição. Dessa forma, o mercado de estireno é fortemente dependente da indústria em questão.

A competitividade do estireno está ligada a questões de preço no mercado externo e de materiais substitutos. Na Figura 24, são apresentadas as relações sistêmicas que norteiam essas ligações envolvendo preço e competitividade frente a novos materiais que substituem o estireno.

Figura 24: ES representando a relação existente na competitividade do SM



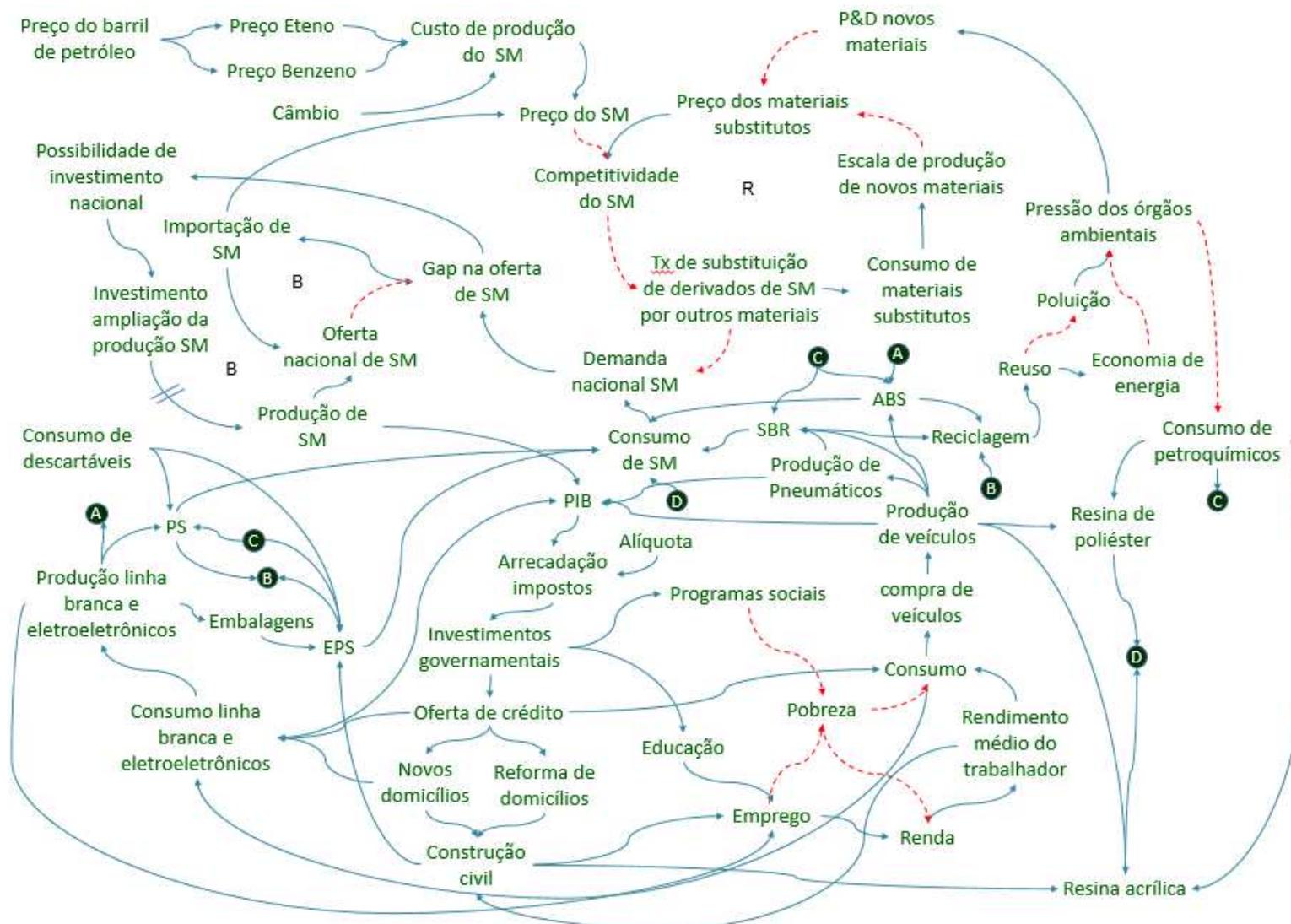
Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor do barril de petróleo é uma variável importante no que tange ao preço do SM, haja vista que a nafta petroquímica que fornece as duas principais matérias-primas para produzir o SM sofre impacto direto com a variação de preço do barril de petróleo. O mercado brasileiro é importador de SM devido ao *gap* existente entre a demanda e a oferta.

Questões referentes à poluição e, por conseguinte, ao impacto ao meio ambiente, influenciam pressões de órgãos ambientais sobre a produção de petroquímicos, fazendo com que pesquisas e desenvolvimento de novos materiais sejam impulsionados, interferindo, dessa forma, na competitividade do SM. Assim, a questão de incentivo para o reuso dos petroquímicos é um meio de minimizar as pressões de órgãos ambientais sobre a utilização de tais materiais. Um dos entrevistados citou a questão de reutilizar os termoplásticos na construção de bancos de praça, de forma a aumentar a durabilidade desses produtos e de dar um fim “ecológico” e nobre a alguns derivados dos petroquímicos.

A ES completa e revisada, exibindo todos os setores e a forma com que eles se relacionam, está representada na Figura 25.

Figura 25: Estrutura sistêmica consolidada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a consolidação da ES, ela foi apresentada aos entrevistados a fim de ser validada. Durante a apresentação, foi nivelado o conhecimento sobre a linguagem sistêmica e os conectores<sup>1</sup> da ES. Os entrevistados salientaram a total coerência existente entre as relações desenvolvidas, enfatizando a facilidade de compreender a dinâmica do mercado de estireno.

Após a validação com os entrevistados, iniciou-se a etapa de construção do modelo de dinâmica de sistemas (MDS). Essa etapa é descrita na próxima seção deste trabalho.

### **4.3.3 Construção do modelo de validação**

Esta etapa se relaciona com a Fase II do método utilizado na condução do presente trabalho. Nas próximas subseções é apresentada a construção dos modelos utilizados para atingir os objetivos da pesquisa.

Com a ES validada pelos entrevistados, as relações existentes com a variável central de estudo, a saber, a demanda de estireno, foram utilizadas para construir o diagrama de caminho, que forneceu as inter-relações básicas para a elaboração do modelo de validação das regressões.

#### **4.3.3.1 Diagrama de caminho**

O objetivo do MDS centraliza-se na identificação das variáveis internas e externas à demanda de estireno. Vale salientar que a ES desenvolvida e o próprio modelo são genéricos, ou seja, podem ser analisados por diferentes mercados. No entanto, neste estudo, as variáveis consideradas foram estruturadas com relação à demanda de estireno no mercado Brasileiro. O Modelo, conforme o principal objetivo que motivou este estudo, deve imitar a realidade e suas tendências da forma mais precisa possível. Desse modo, foram identificadas as variáveis com maior relevância para a situação de interesse. Tal tarefa foi realizada analisando-se os principais setores da ES, confrontando-os com a literatura, e usando como suporte as

---

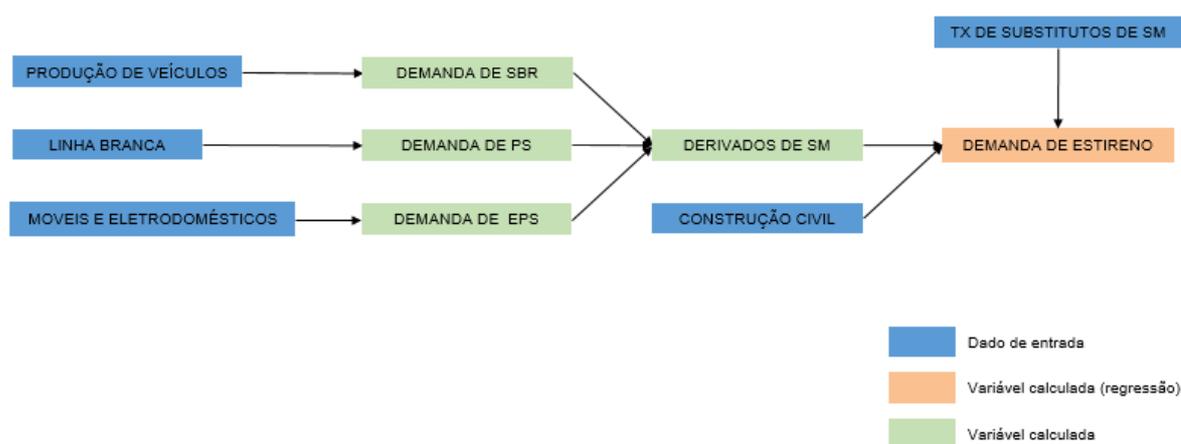
<sup>1</sup> Conectores: são links de transição entre as variáveis. Como exemplo, pode-se citar o conector “D” que, na estrutura sistêmica, faz a ligação entre as variáveis resina de poliéster e resina acrílica com o consumo de SM. Os conectores são utilizados para melhorar o aspecto cartográfico da estrutura sistêmica. (ANDRADE, 2014).

informações adquiridas na fase das entrevistas. A demanda de estireno é a variável central de maior importância, pois isso é o que se deseja mensurar.

Como visto anteriormente, a demanda de SM é composta principalmente pelo consumo de PS, EPS, SBR, resina acrílica e poliéster. Essas resinas têm como matéria-prima principal o SM. Essas variáveis são influenciadas basicamente pela situação da economia brasileira. Seguindo tal lógica, buscou-se, na estrutura sistêmica, variáveis que sejam representativas e que tenham influência na demanda de SM, considerando-as fatores-chave para a composição do modelo. Os fatores-chave que foram selecionados inicialmente para compor o diagrama de caminho são: a) produção de veículos em unidades; b) índice de construção civil; c) índice de produção da linha branca; e d) índice de venda de móveis e eletrodomésticos.

Tais fatores-chave foram inicialmente elencados na estrutura sistêmica, servindo de base para a construção do modelo. O diagrama de caminho foi utilizado como auxílio para entender esses fatores-chaves. Isso facilita a visualização das relações de dependência, que são representadas por setas que partem da variável preditora para a variável dependente. (HAIR et al., 2009). Na Figura 26 é apresentado o diagrama de caminho com os fatores selecionados.

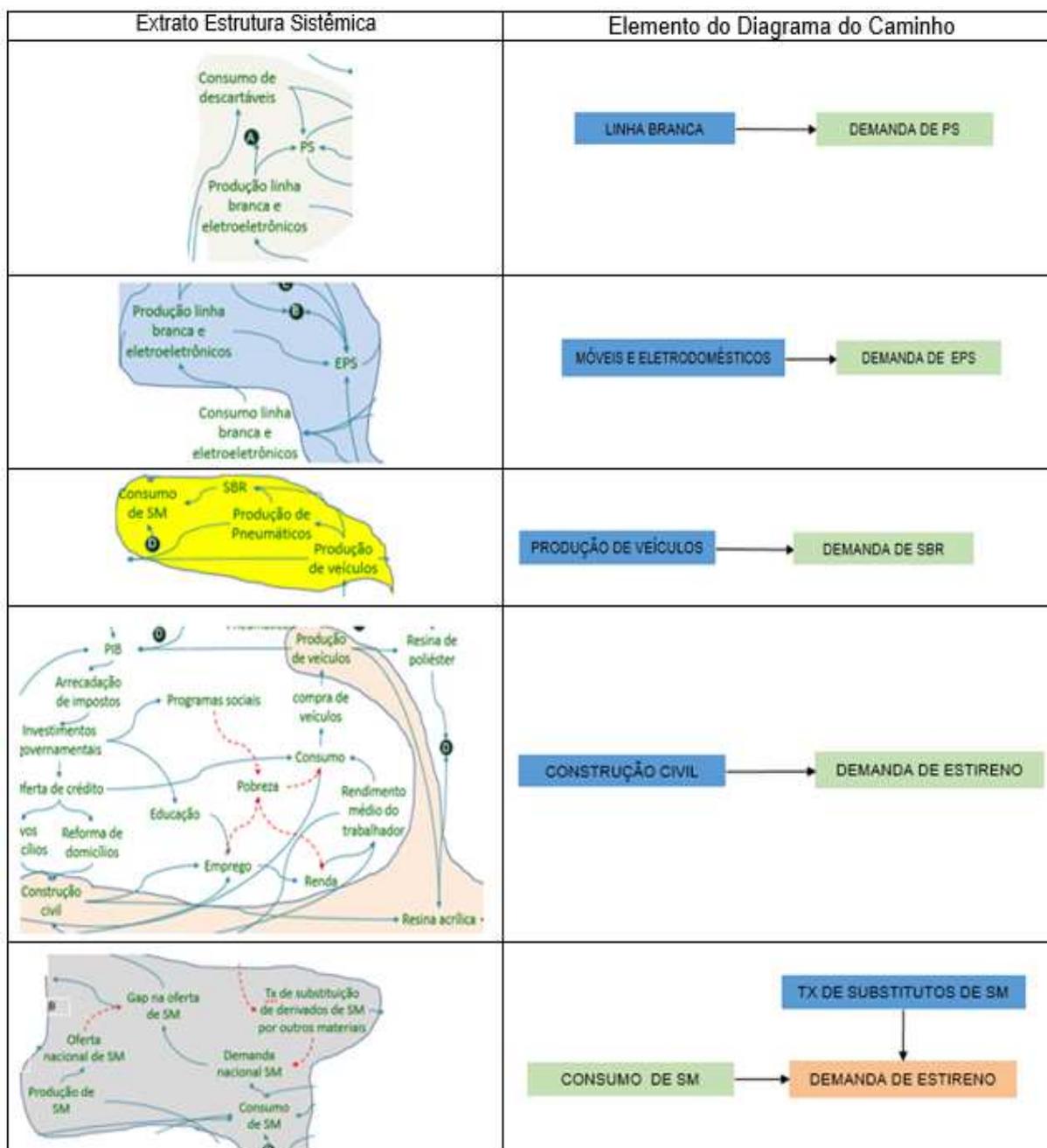
Figura 26: Diagrama de caminho



Fonte: Elaborado pelo autor.

O diagrama de caminho é fundamentado nas relações existentes na estrutura sistêmica, com base na variável central deste estudo. Dessa forma, o primeiro passo foi identificar as variáveis ligadas diretamente à construção civil, à demanda de EPS e à demanda de PS, como mostra a Figura 27:

Figura 27: Construção do diagrama de caminho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o método de trabalho proposto, a próxima etapa consiste na construção e validação do modelo de simulação, o que será apresentado na próxima subseção.

#### 4.3.3.2 Regressão das variáveis explicativas do modelo de validação

Este tópico apresenta a construção das regressões das variáveis explicativas utilizadas no modelo de simulação. As regressões foram desenvolvidas utilizando como ferramenta o software estatístico SPSS, versão 22. O primeiro passo consiste na identificação das variáveis oriundas do diagrama de caminho. Isso significa que aquelas que melhor descrevem o comportamento da demanda é que devem ser consideradas na função matemática construída e validada. Na construção das regressões devem ser observadas as questões teóricas, assim como os pressupostos das técnicas estatísticas utilizadas.

Para realizar essa etapa, algumas alternativas podem ser utilizadas, conforme segue:

- a) Selecionar todas as variáveis ligadas com a demanda de estireno;
- b) Utilizar o conhecimento teórico adquirido na construção da estrutura sistêmica;
- c) Realizar uma análise de regressão com todas as variáveis, utilizando o método de estimação *stepwise* e permitindo que o software selecione o melhor preditor da variável dependente. Isso significa que as variáveis independentes com maior contribuição estatística são agregadas ao modelo.

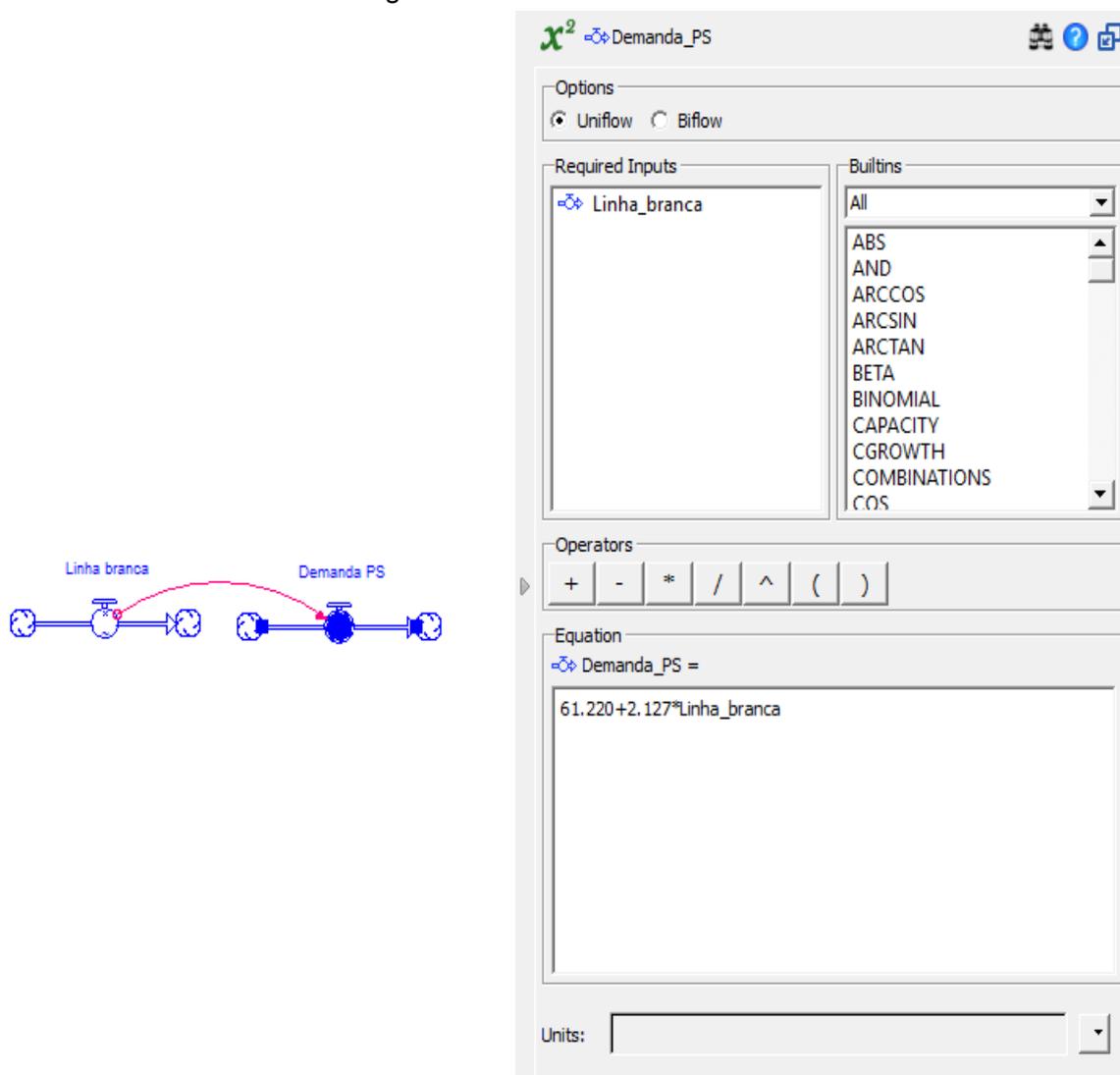
A seleção de todas as variáveis ligadas à demanda de estireno não foi possível. Isso se deu devido à ausência de dados históricos de algumas variáveis e, ainda, pela ocorrência de violação de pressupostos da técnica estatística aplicada, exemplo da multicolinearidade<sup>2</sup>. Utilizar o conhecimento teórico adquirido durante a construção da estrutura sistêmica em conjunto com o método de estimação *stepwise*, mostrou-se a alternativa mais adequada na seleção das variáveis que fizeram parte do modelo.

---

<sup>2</sup> Multicolinearidade: é a extensão em que uma variável pode ser explicada pelas outras variáveis na análise. À medida que a multicolinearidade aumenta, fica mais difícil a interpretação da variável estatística, uma vez que se torna mais complicado verificar o efeito de qualquer variável, devido as suas inter-relações. O impacto da multicolinearidade é reduzir o poder preditivo de qualquer variável independente, na medida em que ela está associada a outras variáveis independentes. (HAIR et al., 2009).

Como exemplo de definição das correlações das variáveis explicativas do modelo, será mostrada a variável de demanda de Poliestireno (PS), na Figura 28.

Figura 28: Demanda de PS



Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante a construção da estrutura sistêmica foi possível verificar a existência de uma relação entre linha branca, descartáveis e embalagens e a demanda de PS. Porém, há baixa correlação estatística para explicar a demanda de PS ao se utilizar as correlações encontradas na estrutura sistêmica. Sendo assim, utilizar o método de estimação *stepwise* corrobora nesse sentido.

A análise da demanda de PS empregando o método *stepwise* tem como resultado a Figura 29.

Figura 29: Resumo da análise de regressão de demanda de PS

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,941 <sup>a</sup>	,886	,875	14,81515

a. Predictors: (Constant), Linha\_branca

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	17054,114	1	17054,114	77,699	,000 <sup>b</sup>
	Residual	2194,886	10	219,489		
	Total	19249,000	11			

a. Dependent Variable: Poliestireno  
b. Predictors: (Constant), Linha\_branca

Coefficients <sup>a</sup>								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	61,220	31,858		1,922	,084		
	Linha_branca	2,127	,241	,941	8,815	,000	1,000	1,000

a. Dependent Variable: Poliestireno

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise do primeiro quadro fornece o coeficiente de correlação (R) de 0,941, que representa o grau de associação entre as variáveis dependentes e independentes. O valor  $R\ Square = 0,886$  é denominado coeficiente de determinação ou poder explicativo da regressão. Indica quanto da variação na variável dependente Poliestireno é explicada pelas variações na variável independente. Dessa forma, pode se dizer que 88,6% da demanda de PS pode ser explicada pelas variações no índice de consumo da linha branca.

A análise anova mostra que para a regressão ser significativa, a hipótese nula tem que ser rejeitada, ou seja,  $R^2$  tem que ser significativamente maior do que zero. Pelo valor *Sig* encontrado, constata-se que o modelo apresenta um  $R^2$  significativamente diferente de zero ( $Sig=0,000$  é menor do que o valor  $\alpha=0,05$  utilizado nas análises deste estudo).

Como coeficiente da regressão de demanda de PS é determinado um valor constante de 61,220. O coeficiente para linha branca é 2,127. Assim sendo, "Demanda PS= 61,220 + 2,127\*Linha Branca". As demais regressões das variáveis explicativas do modelo, assim como seus coeficientes, são apresentados no Apêndice III deste estudo.

### 4.3.3.3 Regressões dos derivados de estireno

Durante a modelagem dos derivados de estireno ocorre elevada correlação entre as variáveis, de modo que é violado um dos pressupostos da regressão linear múltipla. A análise das três variáveis calculadas, demanda de PS, de EPS e de SBR foi realizada sem empregar a opção do método *stepwise*. Os resultados da análise são apresentados na Figura 30, abaixo.

Figura 30: Análise dos principais derivados de Estireno

Model Summary							
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate			
1	,970 <sup>a</sup>	,942	,920	17,78055			

a. Predictors: (Constant), Poliestireno, SBR, EPS

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	40884,411	3	13628,137	43,107	,000 <sup>b</sup>
	Residual	2529,184	8	316,148		
	Total	43413,596	11			

a. Dependent Variable: Estireno\_real  
b. Predictors: (Constant), Poliestireno, SBR, EPS

Coefficients <sup>a</sup>								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	134,142	98,618		1,360	,211		
	SBR	-,024	,268	-,010	-,088	,932	,584	1,714
	EPS	,710	,887	,196	,800	,447	,121	8,272
	Poliestireno	1,189	,338	,792	3,519	,008	,144	6,950

a. Dependent Variable: Estireno\_real

Fonte: Elaborado pelo autor.

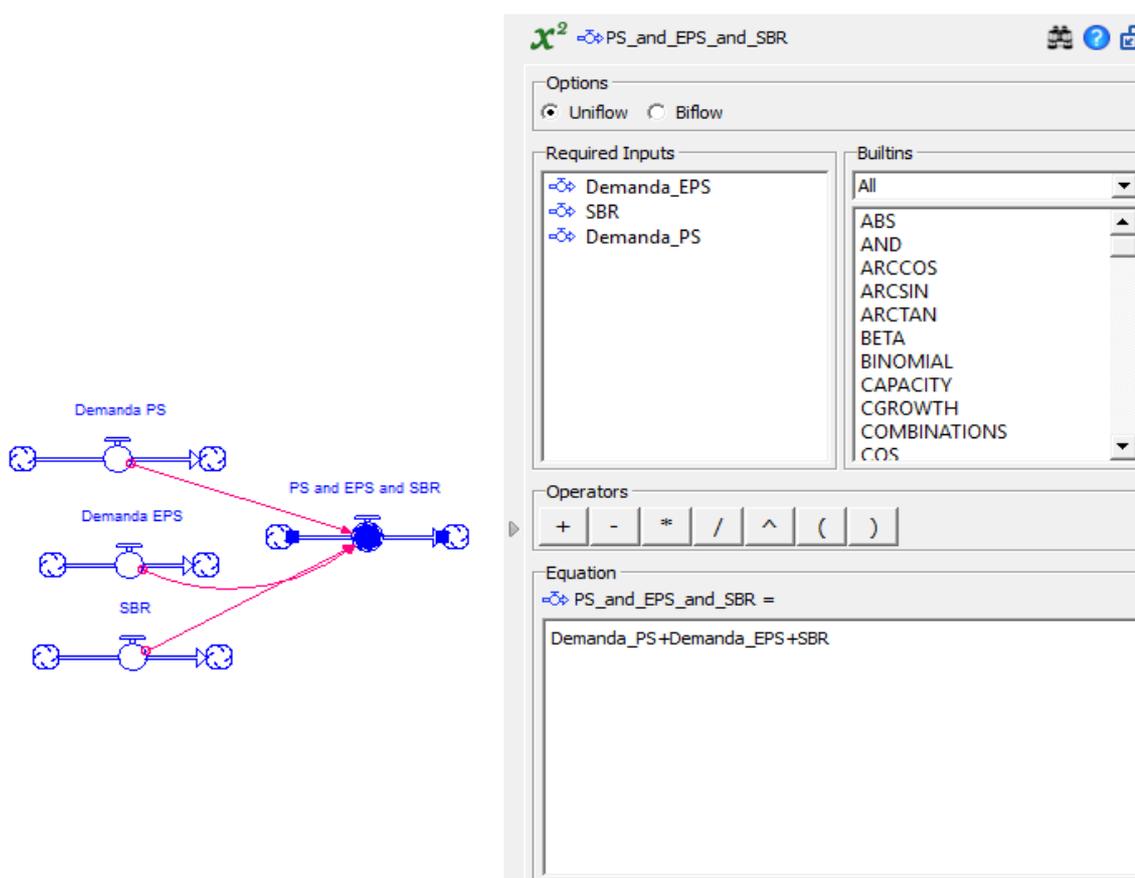
O primeiro quadro da Figura 30 fornece o coeficiente de correlação (R) de 0,970, que representa grau de associação elevado entre as variáveis dependentes e independentes. O valor *R Square* = 0,942, o valor elevado de  $R^2$ , é indicativo de alto poder explicativo da variável dependente.

A análise anova mostra que, para a regressão, o valor *Sig* encontrado apresenta um  $R^2$  significativamente diferente de zero ( $Sig=0,000$  é menor do que o valor  $\alpha=0,05$ ). Isso mostra que o modelo é válido, porém, no que tange à significância dos coeficientes de regressão, observa-se que somente a variável

Poliestireno é significativa, e que os coeficientes SBR e EPS não se mostram estatisticamente válidos. Nesse caso, foi realizado um procedimento alternativo para contornar o problema.

Como a demanda de Estireno divide-se basicamente em três principais derivados, a inclusão destes no modelo foi de grande importância. No caso, foram utilizados os coeficientes técnicos, conforme Young e Lovell (2011), pelos quais o SBR utiliza 25% de Estireno na sua constituição, enquanto o PS e o EPS usam, basicamente, 1 por 1, ou seja, 1000kg de Estireno produzem 1000kg de PS ou de EPS. Dessa forma, foi criada uma variável intermediária, em que os valores de demanda de PS, de EPS e de SBR foram somados, sendo que a variável SBR representou 25% do que é utilizado para produzir 1000 kg de SBR. A Figura 31 mostra a integração dos principais derivados de Estireno.

Figura 31: Principais constituintes da demanda de Estireno



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na próxima subseção, apresenta-se a construção da regressão da demanda de Estireno.

#### 4.3.3.4 Construção da regressão de demanda

Após definidas as regressões das variáveis explicativas do modelo, elaborou-se a regressão da demanda de estireno que será utilizada para construir as equações que comporão o modelo. Durante a construção da estrutura sistêmica ficou evidente que a construção civil é um grande consumidor de Estireno, na forma de resina acrílica e ou poliéster. Tais resinas são utilizadas tanto na produção de tintas de base acrílica quanto em estruturas de poliéster, como reforço estrutural, caixas d'água, cisternas e diferentes peças técnicas. A variável construção civil, que acompanha o desempenho da construção civil brasileira, corrobora o entendimento da demanda de Estireno e fornece melhores resultados estatísticos para os coeficientes da equação matemática da demanda. Na Figura 32, são apresentadas as análises estatísticas da regressão da função de visualização da demanda de Estireno.

Figura 32: Análises da função de demanda

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,975 <sup>a</sup>	,951	,946	14,65011
2	,987 <sup>b</sup>	,973	,968	11,31334

a. Predictors: (Constant), PS\_plus\_EPS\_and\_SBR  
b. Predictors: (Constant), PS\_plus\_EPS\_and\_SBR, Construcao\_civil

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	41267,337	1	41267,337	192,276	,000 <sup>b</sup>
	Residual	2146,258	10	214,626		
	Total	43413,596	11			
2	Regression	42261,672	2	21130,836	165,096	,000 <sup>c</sup>
	Residual	1151,924	9	127,992		
	Total	43413,596	11			

a. Dependent Variable: Estireno\_real  
b. Predictors: (Constant), PS\_plus\_EPS\_and\_SBR  
c. Predictors: (Constant), PS\_plus\_EPS\_and\_SBR, Construcao\_civil

Coefficients <sup>a</sup>								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	122,538	32,953		3,719	,004		
	PS_plus_EPS_and_SBR	,998	,072	,975	13,866	,000	1,000	1,000
2	(Constant)	107,265	26,031		4,121	,003		
	PS_plus_EPS_and_SBR	,995	,056	,972	17,899	,000	1,000	1,000
	Construcao_civil	2,555	,917	,151	2,787	,021	1,000	1,000

a. Dependent Variable: Estireno\_real

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado da análise mostra dois coeficientes de correlação elevados acima de 0,95, inclusive para o  $R^2$ , para os dois modelos ajustados. No entanto, o erro-padrão da estimativa, o qual fornece uma outra medida de precisão da previsão, no modelo 2 apresenta um melhor resultado (11,31334) (*Std. Erro of the Estimate*), sendo que quanto menor é esse valor, melhor é o ajuste em torno da reta da regressão.

O teste F-ANOVA foi realizado para os dois modelos. No primeiro, foi utilizada somente a soma dos principais constituintes da demanda de estireno que, apesar de ser significativa, apresentou um valor maior dos quadrados dos resíduos sem explicação (Residual 2146,258). Já o modelo 2 apresentou um valor inferior para os quadrados dos resíduos sem explicação (Residual 1151,924). Ao avaliar os coeficientes de correlação do modelo 2, verifica-se que todos são estatisticamente aceitos, com  $\alpha=0,05$ .

Na análise da função de demanda, ainda é fornecido o resultado para o teste de colinearidade. Este é um dos testes realizados para o atendimento dos pressupostos de regressão múltipla. O resultado para multicolinearidade é fornecido através da *Tolerance* e pelo valor VIF, em que se pode observar que ambas as variáveis não apresentam sintomas de colinearidade. Demais testes auxiliares devem ser realizados para validar a regressão da demanda de estireno.

O teste de normalidade, que avalia o pressuposto da distribuição normal dos resíduos, foi realizado seguindo os procedimentos denominados testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, os quais examinam se os dados da série estão conformes à distribuição esperada. O resultado do teste é apresentado na Figura 33.

Figura 33: Teste de pressuposto de normalidade

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual	,124	12	,200	,969	12	,895

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado do teste mostra que os resíduos possuem distribuição normal *Sig.* maior do que  $\alpha=0,05$ . No caso deste trabalho, segundo Corrar, Paulo e Dias Filho (2012), deve-se levar em consideração o teste Shapiro-Wilk, pois em caso de amostras menores do que 30, o teste Kolmogorov-Smirnov deve ser substituído pelo de normalidade Shapiro-Wilk.

O último teste a ser realizado para avaliar os pressupostos de regressão múltipla é o de homocedasticidade. O teste realizado é o de Pesarán-Pesarán, que examina a existência de homocedasticidade, processo em que a variância dos resíduos se mantém constante em todo o espectro das variáveis independentes. Na Figura 34 é mostrado o resultado do teste de Pesarán-Pesarán.

Figura 34: Teste Pesarán-Pesarán

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	,899	1	,899	1,663	,226 <sup>b</sup>
	Residual	5,404	10	,540		
	Total	6,303	11			

a. Dependent Variable: Zre\_2  
b. Predictors: (Constant), Zpr\_2

Fonte: Elaborado pelo autor.

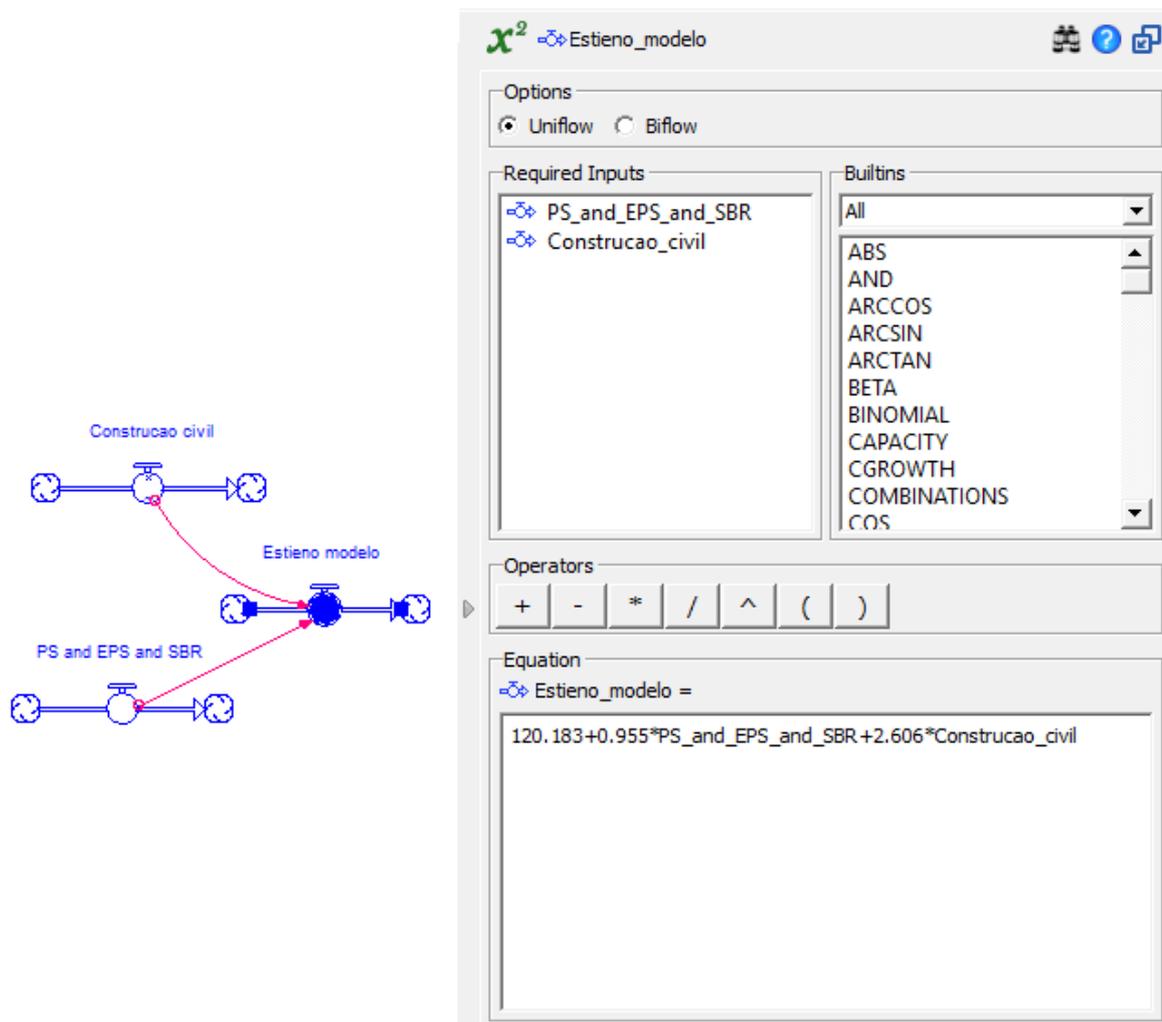
Com base no resultado da regressão, aceita-se a hipótese de que os resultados são homocedásticos, confirmando que o pressuposto da homocedasticidade não é violado (*Sig.* > 0,05). Sendo assim, a variância dos resíduos (variável Estireno modelo) é constante para todas as observações referentes a cada conjunto de valores das variáveis independentes<sup>3</sup>.

Após a realização dos testes dos pressupostos de correlação múltipla, a função do modelo de visualização ficou da seguinte forma:

$$\text{Estireno modelo} = 107,265 + 0,995 \times \text{PS and EPS and SBR} + 2,555 \times \text{Construcao civil.}$$

<sup>3</sup> Variável independente é o valor estimado da variável dependente original. Caso haja uma relação significativa entre as variáveis, rejeita-se a hipótese nula de ausência de heterocedasticidade. (CORRAR; PAULO; DIAS FILHO, 2012).

Figura 35: Função estieno modelo



Fonte: Elaborado pelo autor.

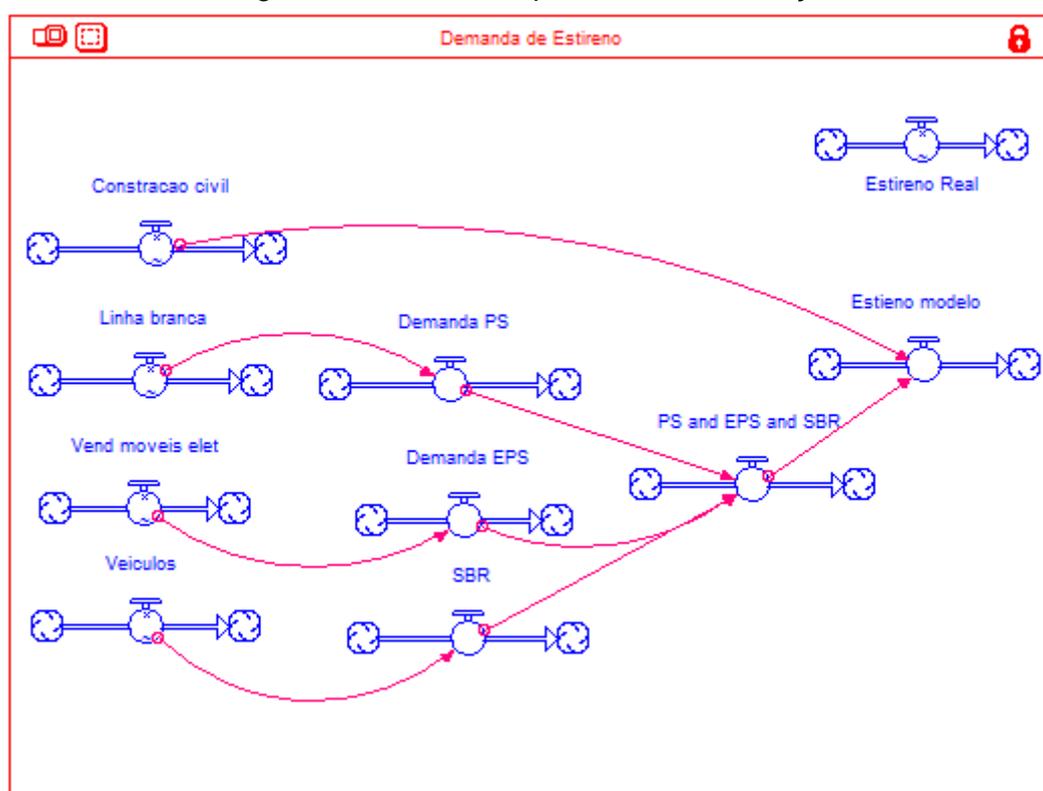
A Figura 35 mostra como ficou a integração das variáveis após a realização dos testes estatísticos da função. A próxima subseção apresenta o modelo de verificação e validação das funções.

#### 4.3.3.5 Modelo computacional de validação

Duas versões de modelo foram construídas, uma de verificação e outra de visualização. O modelo de verificação, além de ser utilizado para validar as equações das regressões, também foi empregado com o propósito de testar a portabilidade do padrão XMILE. Observa-se que o teste do padrão XMILE será realizado na etapa de avaliação, no decorrer deste trabalho.

Após a definição do diagrama de caminho e a construção das regressões do modelo, as relações foram transcritas para o modelo desenvolvido, utilizando o software de Modelagem de Dinâmica de Sistemas (MDS) *iThink*, versão 10.0.3. O período de simulação foi definido com sensibilidade anual, haja vista que os contratos de fornecimento de estireno firmados entre consumidores e fornecedores são anuais. O intervalo de tempo de simulação definido para validar a função foi de 2002 a 2013, já que não havia série histórica completa que contemplasse um período maior. O modelo de dinâmica de sistemas para validação da função da demanda de estireno é apresentado na Figura 36.

Figura 36: Modelo computacional de validação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a transcrição das relações do diagrama de caminho e das regressões no *iThink*, efetuou-se a etapa de validação do modelo resultante. Essa etapa é apresentada na próxima subseção.

#### 4.3.4 Validação do modelo de validação

A validação do modelo de validação foi realizada seguindo o método proposto para condução do presente estudo.

##### 4.3.4.1 Validação qualitativa

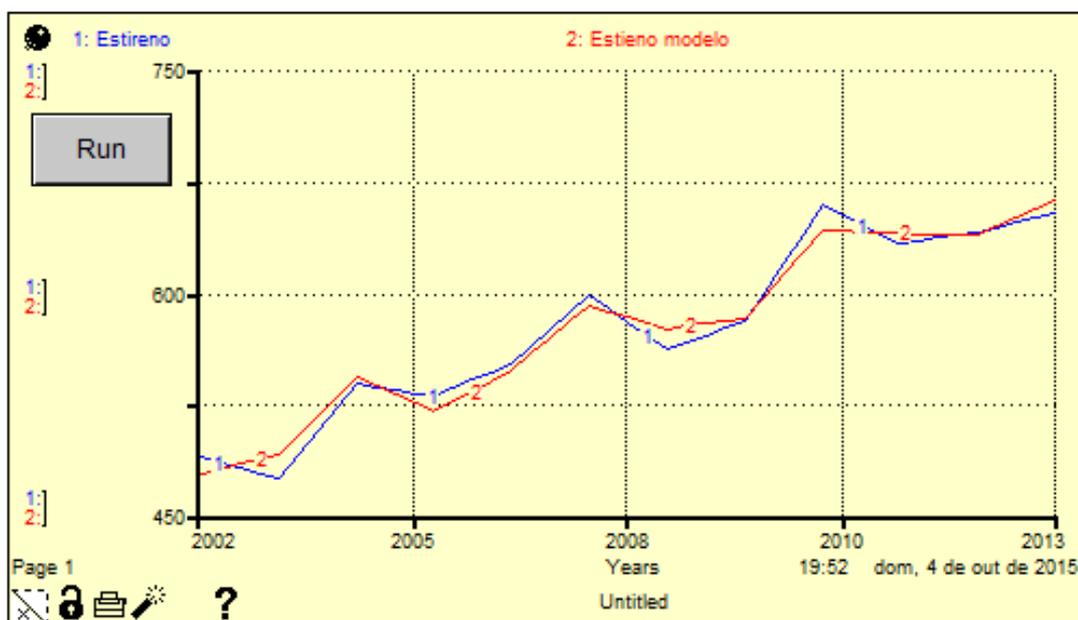
Na validação qualitativa, assim como na quantitativa, foram utilizados os dados históricos, isto é, a demanda de estireno do período de 2002 a 2013. A demanda foi calculada a partir das variáveis independentes, com base nas funções estimadoras construídas pela análise de regressão e, em seguida, comparada aos dados reais históricos.

As características analisadas pelos entrevistados no gráfico de verificação, a fim de validar o modelo, foram:

- a) Forma das curvas: o formato da curva da demanda calculada deve acompanhar o da curva de demanda real, incluindo tendências de crescimento, queda, “picos” e “vales”;
- b) Magnitude das variações: os níveis máximo e mínimo devem apresentar intensidades semelhantes;
- c) Discrepâncias: as discrepâncias no comportamento das curvas de demanda do modelo calculado e real não podem ser superiores a um ano;
- d) Formato das curvas: o formato da curva da demanda calculada deve acompanhar necessariamente o da curva de demanda real, incluindo tendências de aumento, inclinação, “picos” e “vales”.

Após a execução do modelo usando o software *Ithink* da desenvolvedora *Isee System Inc.*, obteve-se o cenário ilustrado na Figura 37, que apresenta a saída do modelo e a comparação com os dados reais, a fim de validar o modelo qualitativamente.

Figura 37: Verificação qualitativa do modelo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos critérios definidos, o modelo foi considerado adequado pelos especialistas entrevistados. Como pode ser visto na Figura 37, todos os critérios previamente definidos foram atendidos. Dessa forma, o modelo foi considerado qualitativamente válido.

#### 4.3.4.2 Validação quantitativa

A validação quantitativa do modelo é realizada conforme definição do método de condução desta pesquisa, já apresentado no capítulo da metodologia. Para realizar esse processo, foram utilizados os dados históricos de demanda de estireno durante o horizonte temporal de 2002 a 2013, comparando-se tais dados aos de saída do modelo. Conforme Barlas (1996) e Suryani et al. (2010a), o modelo é válido se a taxa de erro for menor do que 5%, utilizando-se as equações 1, 2 e 3. Na tabela 4 é apresentado o cálculo de erro médio do modelo em comparação aos dados reais.

Tabela 4: Cálculo erro médio, modelo x real

Ano	Estieno modelo	Estireno Real
2002	477	488
2003	490	474
2004	543	538
2005	519	529
2006	547	552
2007	591	598
2008	575	561
2009	582	581
2010	642	659
2011	640	633
2012	639	641
2013	662	653
Média	576	576
Erro médio	<b>0,005%</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela 4, pode ser observado que o erro médio resultante do cálculo para validação do modelo é de 0,005%, menor do que sugerem Barlas (1996) e Suryani et al. (2010a), que consideram o modelo válido se o erro for menor do que 5%. Seguindo a premissa dos autores, pode se considerar que o modelo é quantitativamente válido. Porém, a fim de confirmar estatisticamente os resultados de saída do modelo, foi realizado um *Teste t<sup>4</sup>* com  $\alpha=0,05$  para comparar as médias da demanda real x modelo. Os resultados são apresentados na Figura 38.

Figura 38: Teste t para médias, modelo x real

#### T-Test

Group Statistics					
	Grupo	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Comparacao	Dados_reais	12	575,6967	62,82288	18,13540
	Dados_modelo	12	575,7275	62,03309	17,90741

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances			t-test for Equality of Means					
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Comparacao	Equal variances assumed	,014	,907	-,001	22	,999	-,03083	25,48663	-52,88686	52,82520
	Equal variances not assumed			-,001	21,996	,999	-,03083	25,48663	-52,88735	52,82569

Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>4</sup> Teste t: Teste para avaliar a significância estatística da diferença entre duas médias amostrais para uma única variável dependente. (HAIR et al., 2009).

Como pode ser observado na tabela 4 e na Figura 38, o modelo atende as premissas para ser quantitativamente validado, pois apresentou erro médio de 0,005%, o que, segundo Barlas (1996) e Suryani et al. (2010a), está dentro dos parâmetros de validação. No que tange ao teste *t* para comparação das médias, o valor *Sig.* 0,999 é maior do que  $\alpha=0,05$ , o que significa que há evidências estatísticas de que não existem diferenças entre a média do modelo e a média dos valores reais.

#### **4.3.5 Modelo computacional para visualização**

O modelo de validação foi desenvolvido para validar as regressões das funções matemáticas de visualização da demanda. Já para a visualização dos cenários, foi construído um segundo modelo, que tem o propósito de testar os possíveis cenários definidos e gerar aprendizagem aos entrevistados. Para essa etapa, foi construída uma interface no modelo para alterar os dados de entrada e explorar os modelos mentais dos entrevistados durante o processo de avaliação do modelo.

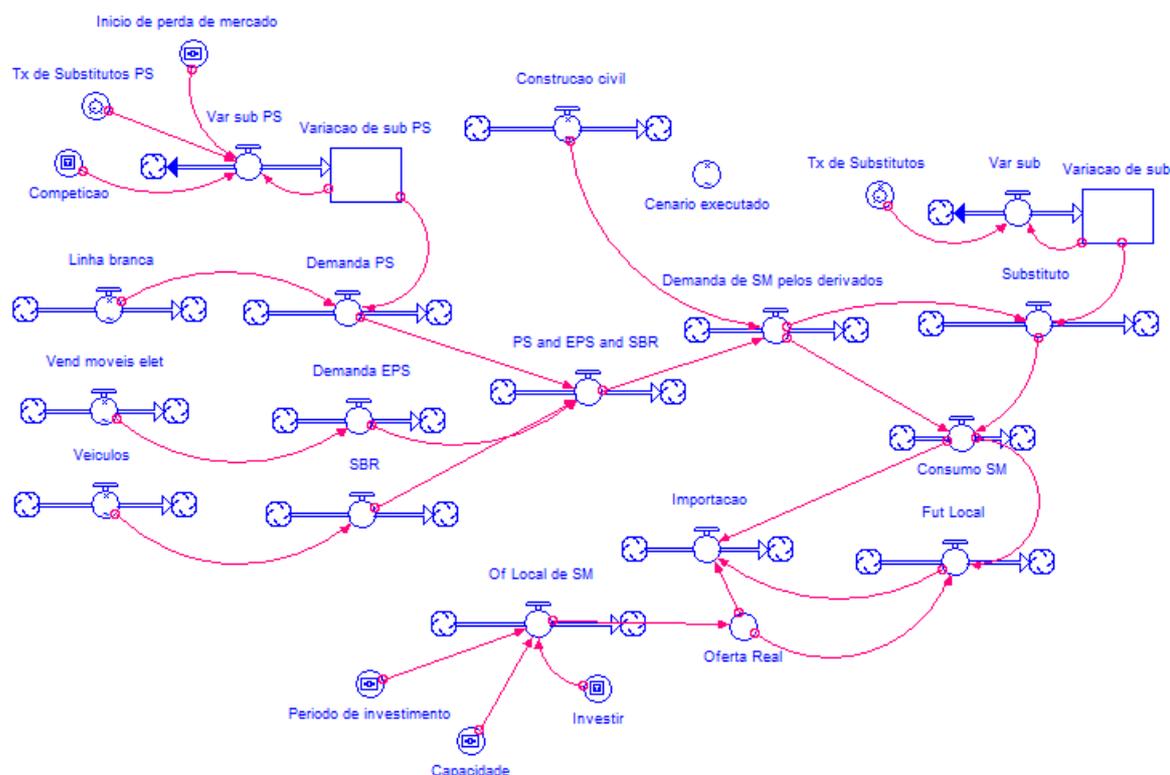
O modelo de visualização dos cenários, diferentemente do modelo de verificação, tem como período de execução da simulação os anos de 2002 a 2033, sendo que até o período de 2013 o modelo já está validado com os dados históricos da demanda. Outra diferença desse segundo modelo é que ele apresenta novas variáveis para atender aos requisitos dos cenários. Como exemplo, têm-se os materiais substitutos, oferta local de estireno, Fator de Utilização (FUT) teórico para o qual foi adotado o valor de 97%, com base nos estudos de Solomom<sup>5</sup>, e um FUT local com base na demanda local. Ainda como diferença entre os modelos, foi criada uma nova variável com o intuito de verificar qual será o volume de importação necessário, se confirmado, para atender a demanda local.

Na Figura 39, que segue abaixo, é possível observar o modelo de visualização dos cenários.

---

<sup>5</sup> Disponível em: <http://solomononline.com/benchmarking/chemicals>. Acesso em: 25/10/2015.

Figura 39: Modelo computacional de visualização



Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo de visualização é utilizado nas etapas seguintes deste trabalho. Na próxima seção, apresentam-se as considerações finais do capítulo.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Na presente etapa desta dissertação, concluíram-se as Fases I e II e iniciou-se a Fase III do método de trabalho. Até aqui, foram construídos os artefatos de validação das regressões e de visualização dos cenários. Vale salientar que apesar de o artefato de validação ter apresentado uma boa explicação para a demanda, não se busca prever a demanda futura, mais sim visualizar a demanda, com base nos cenários propostos.

Na próxima seção, desenvolve-se a Fase III do método de trabalho, com a construção e avaliação dos cenários propostos com aplicação do artefato de visualização de demanda.

## **5. APLICAÇÃO DO ARTEFATO PARA VISUALIZAÇÃO DA DEMANDA DE ESTIRENO**

Neste capítulo, prossegue-se o desenvolvimento da Fase III do método de trabalho. A etapa descreve a aplicação do modelo de visualização da demanda de estireno, avaliando quatro diferentes cenários. Estimativas baseadas na economia e a substituição de derivados de estireno por biopolímeros são cenários avaliados ao longo do capítulo.

Inicialmente, são apresentados os cenários que foram desenvolvidos, com os respectivos eixos de incertezas críticas. Após, esses cenários são avaliados, é realizada uma rodada de simulação para o conjunto de incertezas, e são discutidos os resultados. Por fim, os cenários são comparados, e os resultados são novamente problematizados.

### **5.1 APLICAÇÃO DO ARTEFATO**

Um dos objetivos desta pesquisa foi construir um artefato para visualização da demanda de estireno no mercado brasileiro. Para avaliar a utilização do artefato, a partir das entrevistas foram definidas duas possíveis incertezas críticas pelos entrevistados. As incertezas mais lembradas foram o desempenho da economia e a inserção de produtos substitutos ao estireno. Após a construção da estrutura sistêmica e a apresentação desta aos entrevistados, ficou ainda mais evidente que tais incertezas devem ser tema central no que tange ao planejamento de longo prazo.

Essas incertezas foram definidas por impactarem a demanda de forma significativa. Tanto a questão econômica quanto a substituição de derivados são temas estratégicos fundamentais para as organizações, por problematizarem situações como ampliação de capacidade de produção, importação, exportação, melhoria incremental no processo, e até mesmo a construção de novas unidades.

#### **5.1.1 Construção dos cenários**

Durante as entrevistas, uma das questões aplicadas foi: “Quais seriam, na sua opinião, as incertezas críticas sobre os cenários futuros na demanda de estireno

do mercado brasileiro?” As respostas obtidas foram utilizadas para construir os cenários com base em possíveis realidades futuras.

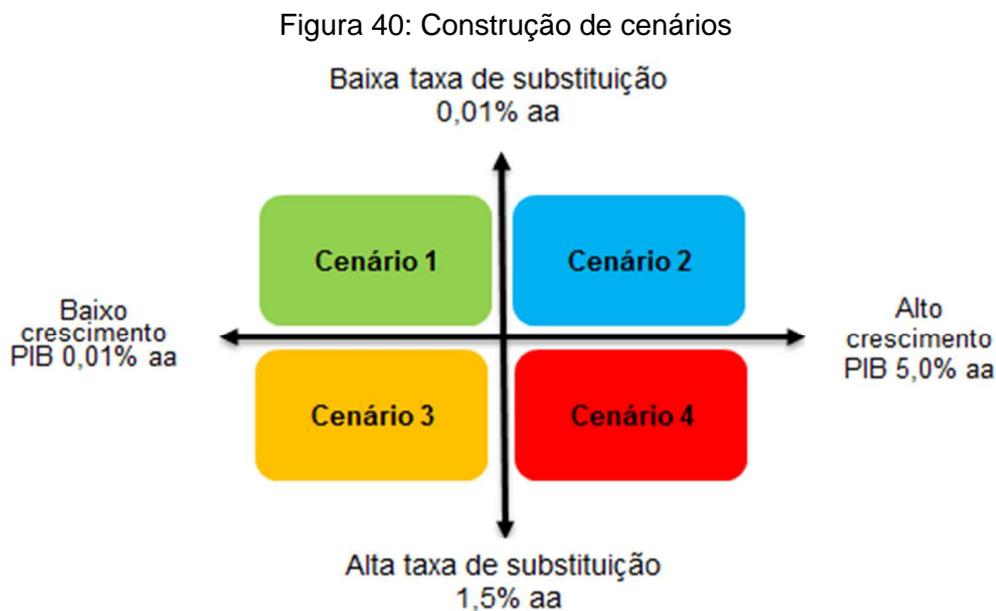
A construção dos cenários foi iniciada com a identificação das forças motrizes, que pressupõem que o comportamento do futuro é incerto e, dessa forma, são definidas como incertezas críticas, de acordo com o conceito de Schwartz (2000). No decorrer das entrevistas, foram identificadas as 6 principais incertezas mais repetidas pelos entrevistados, dentre as quais estão: câmbio, PIB nacional, oferta de crédito, preço do barril de petróleo, produtos substitutos (biopolímeros), etc.

Após a definição das principais incertezas críticas, o grupo refletiu sobre quais teriam maior impacto nos cenários futuros. Seguindo essa lógica, a primeira incerteza crítica definida foi a questão dos produtos substitutos ao estireno. Essa incerteza é de grande relevância, pois auxilia na tomada de decisão no que tange ao entendimento da demanda em longo prazo. Em segundo lugar, definiu-se o PIB, pois essa variável impacta fortemente os derivados de estireno. O cenário de incertezas foi definido pelos entrevistados em conjunto com o pesquisador, conforme proposto no método de trabalho empregado na condução deste estudo.

Para a configuração dos cenários, foram considerados dois níveis extremos, alterando-se as incertezas entre esses níveis. Os cenários, bem como os valores de cada nível de incerteza que foi utilizado para a simulação, são apresentados na Figura 40. Para a visualização da demanda, foram definidos dois eixos com diferentes níveis a serem avaliados. O PIB médio do período analisado, a saber, de 2002 a 2013, foi de 3,6%. Porém, entrevistados e pesquisador optaram por utilizar um valor superior para o nível alto do PIB (5,0%) prevendo um aumento maior da atividade econômica brasileira em comparação com a série histórica. Para o nível baixo do eixo do PIB, foi considerado 0,01%, o que corresponde à estagnação da economia. Já para o eixo de incerteza de substituição do estireno, foi utilizado 0,001% como baixa taxa de substituição e 1,5% como alta taxa de substituição do estireno.

Esses valores de taxa de substituição foram definidos com base na média prevista para o período segundo os estudos realizados por Ryan, Sam e Bayram (2013), Reddy, Reddy e Gupta (2013), Tariq (2013), Philp (2014), Pathak, Sneha e Mathew (2014) e Aeschelmann e Carus (2015). Esses limites de avaliação foram validados com os entrevistados como cenários possíveis. A Figura 40 exhibe os cenários com os respectivos eixos, com as incertezas e com os níveis alto e baixo.

Colocando-se as incertezas críticas sobre os dois eixos perpendiculares, obteve-se a formação de quatro quadrantes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada um desses quadrantes gera um cenário com os valores das incertezas de acordo com os eixos. O cenário 2, por exemplo, tem nível de baixa taxa de substituição do estireno e alto crescimento da economia. Também são atribuídos nomes aos cenários, sendo esta uma prática frequentemente adotada para facilitar a identificação do cenário com seu conteúdo. (ANDRADE et al., 2006; HEIJDEN, 2000).

Os cenários foram projetados para visualizar um futuro de 20 anos. Conforme relatório desenvolvido pelo BNDES (2014), o andamento da concepção de projetos das indústrias de refino e produção de petroquímicos de 2ª geração é de aproximadamente 10 anos. Somado ao tempo de contrato para fornecimento de matérias-primas e construção de unidades, esse período foi julgado coerente pelos entrevistados. Em seguida, é apresentada a descrição de cada um dos cenários:

a) **Cenário 1: Poderia ser pior:** neste cenário, há um baixo crescimento da economia (0,01%) e a taxa de substituição de estireno é baixa (0,01%). Nesse caso, há baixo investimento em pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias para substituir o estireno e seus derivados. Há recessão econômica com limitado investimento da indústria e, com isso, redução no consumo de derivados de

estireno. O consumo de estireno é fortemente impactado pela desaceleração da economia, haja vista que é uma matéria-prima de primeira geração, sendo utilizado pelas indústrias de construção civil, eletroeletrônica e automotiva.

No cenário em questão, a empresa não se preocupa com os produtos substitutos, pois ainda não há perda significativa de mercado de estireno para substitutos. No entanto, o volume de vendas e, possivelmente, os lucros da empresa são reduzidos em função da baixa demanda causada pela estagnação da economia;

b) **Cenário 2: Crista da onda:** neste cenário, há significativa evolução da economia brasileira durante os 20 anos analisados. A introdução de produtos alternativos ao estireno continua limitada, e as pesquisas e o desenvolvimento nesse sentido mostram-se insignificantes e com mínima tendência a evolução, de modo que a taxa de novos produtos não é expressiva no mercado de estireno. A indústria de estireno pode vislumbrar ampliações e melhorias sem a preocupação de perder mercado para produtos substitutos em curto prazo.

Nesse cenário, com o crescimento do PIB, os derivados do estireno são fortemente influenciados, pois, conforme relatório do BNDES (2014), a indústria química e de derivados ocupa a quarta posição no que no diz respeito à formação do PIB brasileiro;

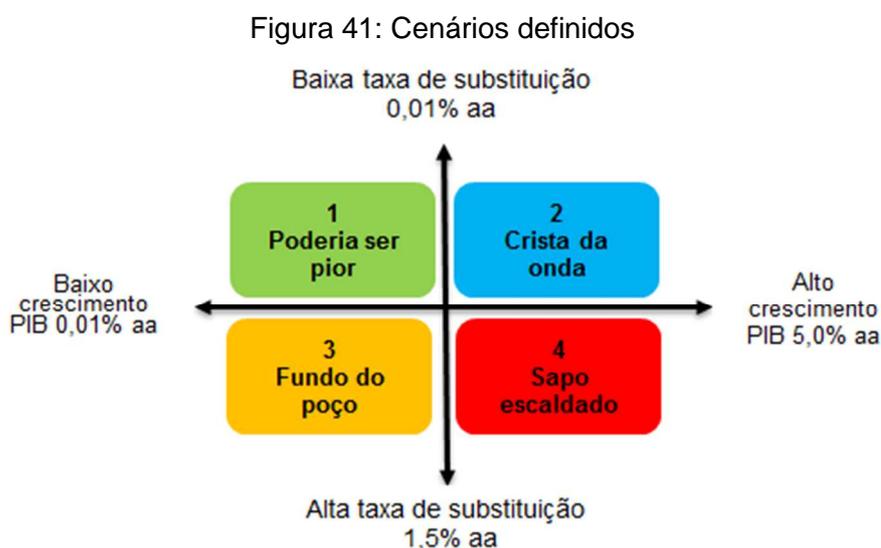
c) **Cenário 3: Fundo do poço:** a economia está em recessão, e há redução de vendas de derivados que utilizam o estireno. A desconfiança com a economia só aumenta, as vendas de automóveis diminuem, a construção civil sofre recessão, as indústrias de móveis e eletrodomésticos encolhem. O estireno é fortemente impactado pela baixa desses setores. Produtos alternativos com forte apelo ecológico são desenvolvidos e incentivados de forma significativa, com a intenção de se substituir o estireno. A competitividade do estireno começa a reduzir, ainda que de forma limitada, porém a recessão econômica prejudica fortemente as operações das empresas de estireno, encaminhando o setor a uma crise. O fator de utilização das empresas é impactado, e a parada de algumas unidades é iminente frente a essa situação.

Tal cenário pode ser caracterizado como o pior de todos para a indústria de estireno, pois a combinação de baixo crescimento econômico e de alta taxa de substitutos leva o mercado de estireno a não evoluir e ainda a entrar em decadência. A indústria de estireno começa a perder mercado para os substitutos e, com isso, o negócio é inviabilizado, forçando as empresas a repensarem as operações e até mesmo a desinvestirem no setor;

d) **Cenário 4: Sapo esquentado:** neste cenário, a economia está aquecida, impulsionando o consumo de derivados de estireno, porém há investimento e incentivo de substitutos, limitando o crescimento do setor. Nesse caso, as empresas podem realizar investimentos, porém devem ficar atentas às tendências do mercado. Produtos substitutos podem limitar a rentabilidade do negócio e ainda, em longo prazo, inviabilizar os investimentos realizados para atender a demanda gerada com base na economia. Isso significa que as empresas devem monitorar constantemente o mercado e as tendências, e que não devem reagir conforme a metáfora do sapo esquentado. De acordo com Senge (2011, p. 52),

Se você colocar um sapo em uma panela de água fervendo, ele tentará pular para fora da panela imediatamente. Mas se colocar o sapo em uma panela com temperatura ambiente, sem assustá-lo, ele ficará dentro da panela. Agora se colocar a panela no fogo e aumentar gradativamente a temperatura, acontecerá uma coisa bastante interessante. Quando a temperatura aumentar de 20 para 30 graus, o sapo não se mexerá. Na verdade, dará sinais de que está gostando. Porém, à medida que a temperatura for aumentando gradativamente, o sapo ficará cada vez mais tonto, até que não será mais capaz de sair da panela, até ser esquentado.

A metáfora do sapo esquentado pode acontecer com qualquer setor, principalmente quando os movimentos são pequenos e constantes. No caso do cenário 4, apesar de ser fortemente significativo, em longo prazo a entrada de novos produtos pode limitar os negócios de estirênicos. A representação final dos cenários ficou conforme a Figura 41.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores das incertezas críticas utilizados para cada cenário (Figura 41) são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5: Valores das incertezas aplicadas na simulação por cenários

Cenários	Variação do PIB	Taxa de substituição
1 - Poderia ser pior	0,01%	0,01%
2 - Crista da onda	5,00%	0,01%
3 - Fundo do poço	0,01%	1,50%
4 - Sapo escaldado	5,00%	1,50%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a simulação dos cenários, os dados de entrada do modelo referentes à incerteza do PIB foram proporcionais à taxa média de crescimento do PIB no período. No caso da indústria automotiva, por exemplo, no período analisado, de 2002 a 2013, o crescimento médio foi de 52% em relação ao PIB, conforme o IBGE (2015). Dessa forma, no modelo, a variação do setor automotivo será 52% referente ao eixo de incerteza do PIB, e assim sucessivamente para as demais variáveis de entrada do modelo. No quadro 6 é possível verificar o valor dos dados de entrada do modelo com base na variação média do PIB no período.

Quadro 6: Dados de entrada eixo incerteza PIB

Cenários	Dado de entrada	Variação % aa
2 e 4	Construção civil	5,00%
	Linha branca	1,15%
	Veículos	2,60%
	Venda de móveis e eletrodomésticos	5,00%
1 e 3	Construção civil	0,0100%
	Linha branca	0,0023%
	Veículos	0,0026%
	Venda de móveis e eletrodomésticos	0,0100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a definição e criação dos cenários, estes foram implementados no modelo a fim de testar o artefato desenvolvido. Esse procedimento é detalhadamente explicado na próxima subseção.

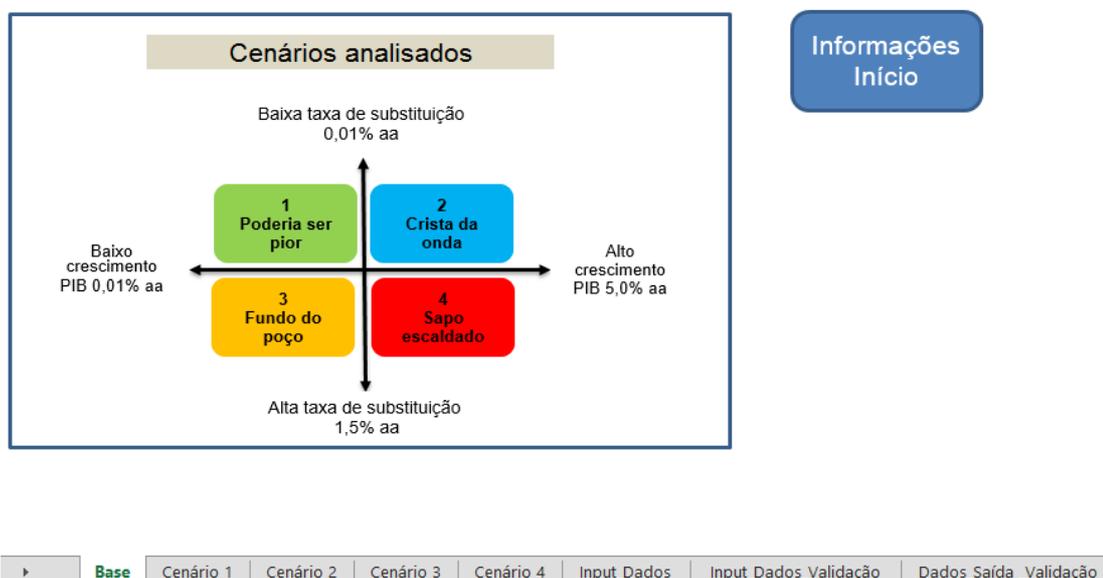
## 5.2 VISUALIZAÇÃO DOS CENÁRIOS COM USO DO ARTEFATO

O objetivo do planejamento de cenários é eliminar crenças em futuros, admitindo a possibilidade de que qualquer futuro pode se tornar realidade. Assim, prepara-se para o que não se acredita que vá ocorrer. (SCHWARTS, 2000). Usar cenários não é prever o futuro, mas atentar às alterações do ambiente. O objetivo é manter as relações dinâmicas, encontrando a melhor forma de se adaptar às mudanças, considerando possíveis cenários futuros, por meio de decisões tomadas no presente. Isso possibilita trafegar por diferentes perspectivas, estimulando pessoas e organizações a encararem as incertezas que cercam o futuro. (RUDIBERT, 2009).

Em se tratando de futuro incerto, no que tange à economia e ao desenvolvimento de novos materiais, a utilização de cenários objetiva avaliar as incertezas, visualizando, assim, estratégias ao longo do tempo. Desse modo, é necessário utilizar um modelo de simulação computacional que avalie os diferentes cenários possíveis e que sirva como ferramenta de suporte para tomada de decisão.

Durante a construção do modelo, empregou-se atenção especial às interfaces. Para a entrada de dados, foi organizado um painel no Excel, a partir do qual os dados foram importados para o modelo. O benefício desse painel é permitir aos usuários a seleção de cada cenário, bem como o carregamento automático dos dados para o software de simulação. A Figura 42 apresenta a página inicial do painel de dados.

Figura 42: Painel de Dados do Modelo Computacional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 43 ilustra um exemplo de planilha de projeção de dados de entrada de cada cenário que será simulado no modelo de visualização. Esses dados são projeções que possuem como base as incertezas críticas dos eixos de cada cenário.

Figura 43: Modelo de planilha de projeção dos dados de entrada do modelo

Ano	Vend moveis elet	Veiculos	Construcao civil	Linha branca	Espectativa de aumento economia	Tx de Substitutos
2002	33,36	1633790,00	4,70	100,00	1,0001	0,01
2003	33,08	1684715,00	8,90	101,02		
2004	41,81	2124177,00	11,00	119,87		
2005	42,00	2357172,00	2,20	118,36		
2006	53,46	2403680,00	1,00	130,18		
2007	61,71	2825276,00	9,10	137,09		
2008	71,02	3050631,00	4,80	131,13		
2009	72,50	3076000,00	7,50	130,54		
2010	85,78	3382143,00	13,10	147,46		
2011	100,00	3417782,00	8,30	147,96		
2012	112,17	3402963,00	2,80	150,45		
2013	117,72	3712736,00	4,70	156,55		
2014	121,26	3712929,06	4,70	156,55		
2015	121,27	3713122,13	4,70	156,56		
2016	121,28	3713315,22	4,70	156,56		
2017	121,30	3713508,31	4,70	156,56		
2018	121,31	3713701,41	4,70	156,57		
2019	121,32	3713894,52	4,70	156,57		
2020	121,33	3714087,65	4,70	156,57		
2021	121,35	3714280,78	4,70	156,58		
2022	121,36	3714473,92	4,70	156,58		
2023	121,37	3714667,07	4,70	156,58		
2024	121,38	3714860,24	4,71	156,59		
2025	121,39	3715053,41	4,71	156,59		
2026	121,41	3715246,59	4,71	156,60		
2027	121,42	3715439,79	4,71	156,60		
2028	121,43	3715632,99	4,71	156,60		
2029	121,44	3715826,20	4,71	156,61		
2030	121,45	3716019,42	4,71	156,61		
2031	121,47	3716212,66	4,71	156,61		
2032	121,48	3716405,90	4,71	156,62		
2033	121,49	3716599,15	4,71	156,62		

Fonte: Elaborado pelo autor.

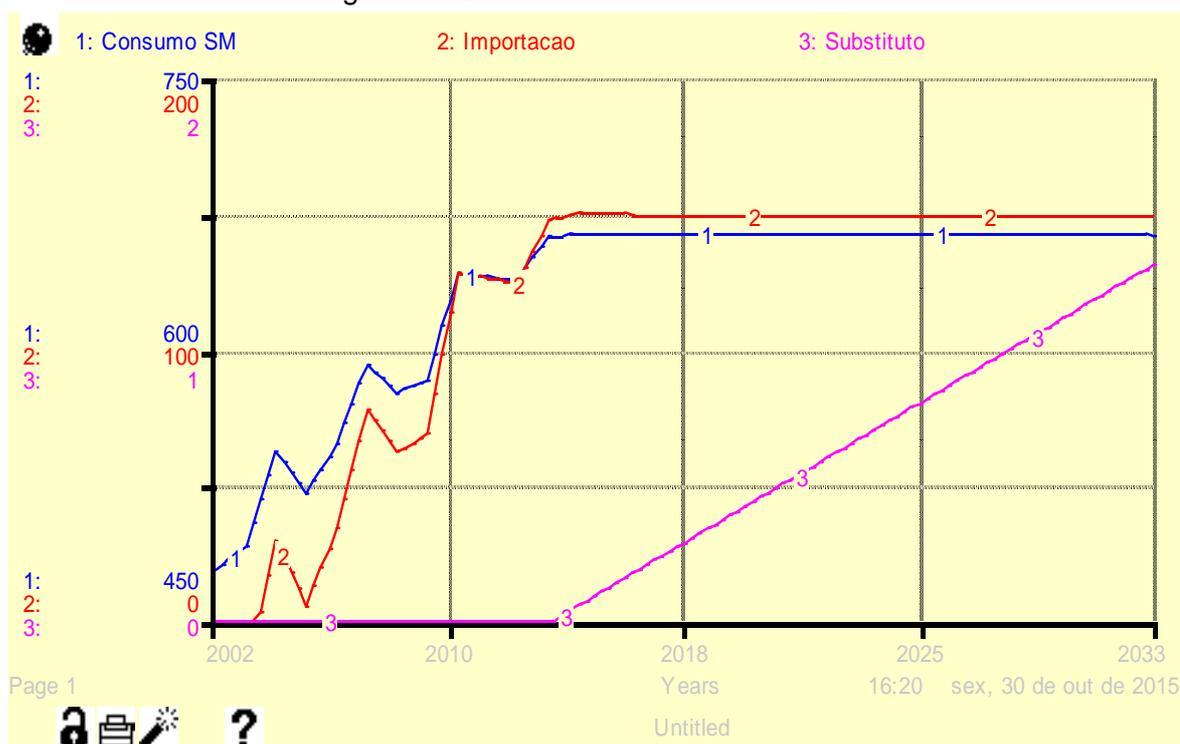
Com os dados de entrada ajustados para representar diferentes cenários, iniciou-se o uso do modelo de visualização. A avaliação do desempenho do modelo para cada cenário é exibida nesta seção e, ao final, são avaliados os resultados.

### 5.2.1 Cenário 1: “Poderia ser pior”

O nome designado para o cenário 1, “poderia ser pior”, surge em função da situação de forte recessão econômica, que faz com que boa parte dos produtos industrializados seja reduzida e, conseqüentemente, com que a demanda dos derivados de estireno também seja reduzida. Ao mesmo tempo, a utilização de materiais substitutos é limitada, quase insignificante frente à demanda de estireno.

Porém, nesse cenário, ainda é necessário importar estireno, pois a capacidade instalada não é suficiente para atender a demanda existente, mesmo com a estagnação da economia. O cenário possibilita melhorias incrementais nas fábricas de estireno, a fim de suprir o que seria importado. Nesse caso, o mercado de estireno ainda é competitivo em relação a materiais substitutos. Na Figura 44 é possível verificar a tendência do mercado de estireno no cenário 1.

Figura 44: Demanda de estireno cenário 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 44, pode-se observar a existência de três diferentes curvas: consumo, importação e materiais substitutos. O consumo de SM, representado pelo traço azul do gráfico, apresentou variação de consumo de aproximadamente 450 a 660 Kton ao ano. A importação de SM, representada pelo traço vermelho do gráfico, apresentou valores que variaram de zero a aproximadamente 150 Kton ao ano. Já a utilização de materiais substitutos, representada pelo traço rosa, apresentou consumo que variou de zero a aproximadamente 1,5 kTon ao ano.

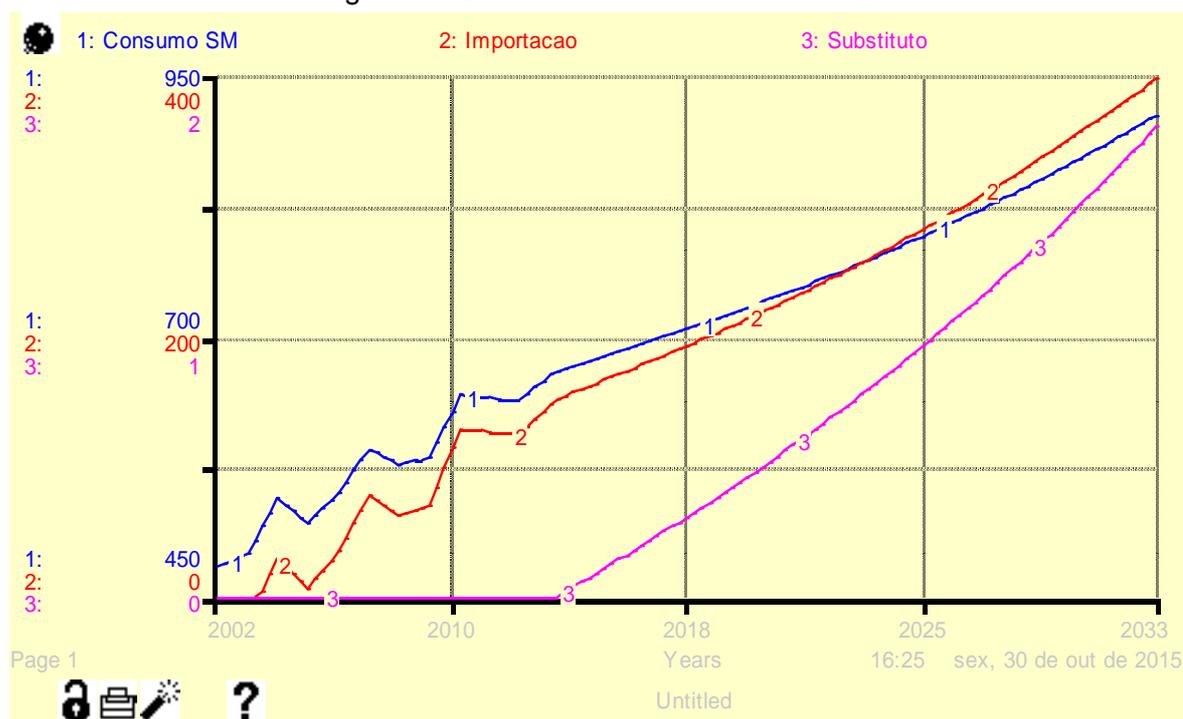
O consumo de substitutos cresceu modestamente nesse cenário, quando comparado ao consumo e importação de SM. Pode-se observar, ainda no gráfico da Figura 44, que o consumo e a importação de SM mantêm forte tendência de estabilidade ao longo do período analisado. Já os produtos substitutos mostram tendência de aumento no período. No Apêndice IV, é possível verificar os valores que foram plotados nos gráficos para todos os cenários analisados, facilitando a visualização e comparação entre eles.

### **5.2.2 Cenário 2: “Crista da onda”**

No cenário 2, a economia aquecida impulsiona o consumo de derivados de estireno, fazendo com que se eleve a demanda. Nesse caso, são propiciados investimentos em melhorias e até mesmo construção de novas fábricas para atender à demanda crescente.

O mercado de estireno não é ameaçado por produtos substitutos de forma significativa, pois o investimento em pesquisa e desenvolvimento é limitado, ainda que a taxa de crescimento econômico esteja elevada. Apesar de haver demanda para substitutos de estireno, o mercado prioriza a utilização de derivados de petróleo ao invés de investir em novos materiais. Conforme Pathak, Sneha e Mathew (2014) e Aeschelmann e Carus (2015), os materiais ditos biopolímeros ainda possuem elevado custo e, com isso, não é atrativo para as empresas substituir as matérias-primas convencionais. A Figura 45 mostra a visualização da demanda de estireno caso esse cenário se efetive.

Figura 45: Demanda de estireno cenário 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

No período simulado, é possível observar o elevado crescimento do consumo, da importação e do uso de substitutos de estireno. O consumo de SM, representado em azul no gráfico da Figura 45, mostra valores que variam de aproximadamente 477 kTon a 910 kTon ao ano. No gráfico da Figura 45, no segmento em vermelho, observa-se que a importação variou de zero a aproximadamente 400 kTon ao ano. Segundo esse cenário, a partir de 2022 já há demanda para uma nova fábrica de estireno como a da Innova, que atualmente tem capacidade de produzir 250 kTon ao ano. No cenário em questão, assim como no cenário 1, os substitutos, representados pelo segmento rosa do gráfico da Figura 45, tiveram um crescimento modesto frente a demanda de estireno. O consumo de substitutos variou de zero a aproximadamente 1,5 kTon ao ano.

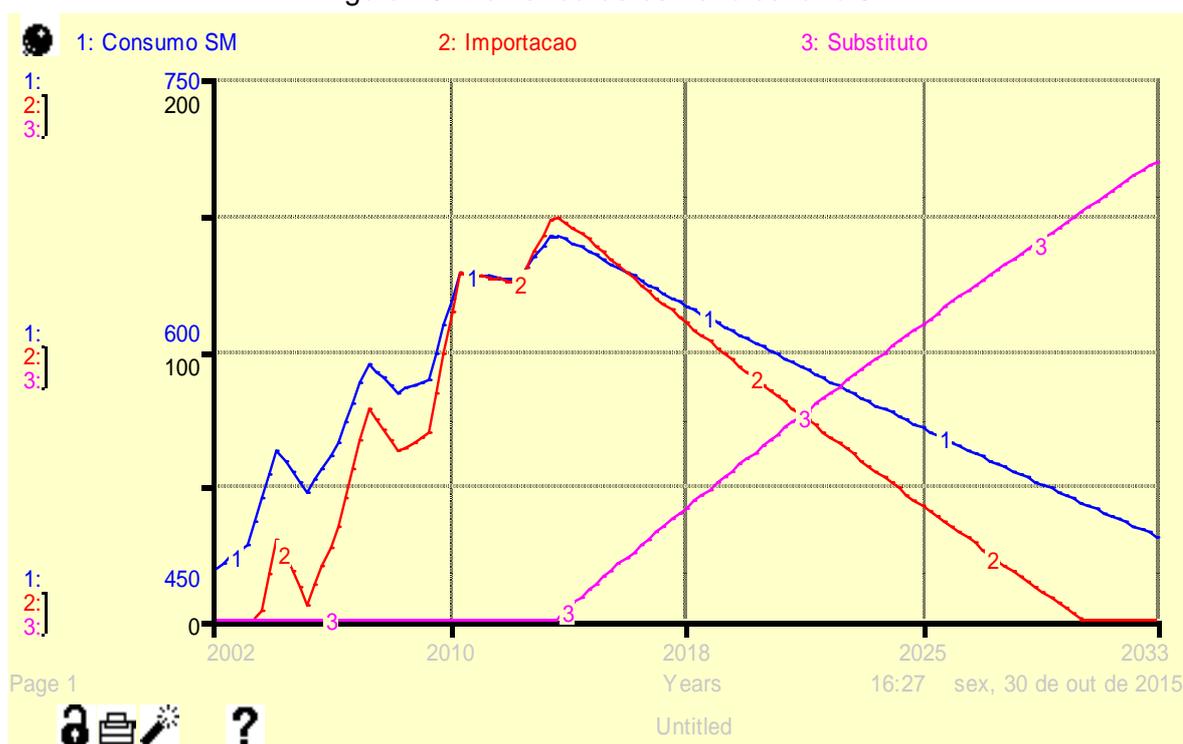
Observando os resultados, fica evidente que no final do período simulado será necessário praticamente dobrar a atual capacidade de produção de estireno instalada no Brasil. Os setores que utilizam o estireno terão que elevar consideravelmente as importações para atender às necessidades caso nenhum incremento na oferta seja realizado.

### 5.2.3 Cenário 3: “Fundo do Poço”

No cenário 3, a perspectiva é de dificuldade para as empresas de estireno. Além da estagnação econômica, há elevado crescimento dos materiais substitutos. Nesse caso, as empresas podem buscar alternativas diferentes, como investir em pesquisas e em desenvolvimento de novas aplicações para o estireno. Em mercados de materiais, há possibilidade de concorrência dos polímeros com outros materiais. Assim, cerâmica, aço e outros polímeros como o poliestireno podem substituir o polipropileno ou o polietileno em determinadas aplicações.

No entanto, como mostra a Figura 46, existe demanda maior do que a oferta por um período. Isso permanecerá até que a demanda importada seja suprida pelos materiais substitutos.

Figura 46: Demanda de estireno cenário 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

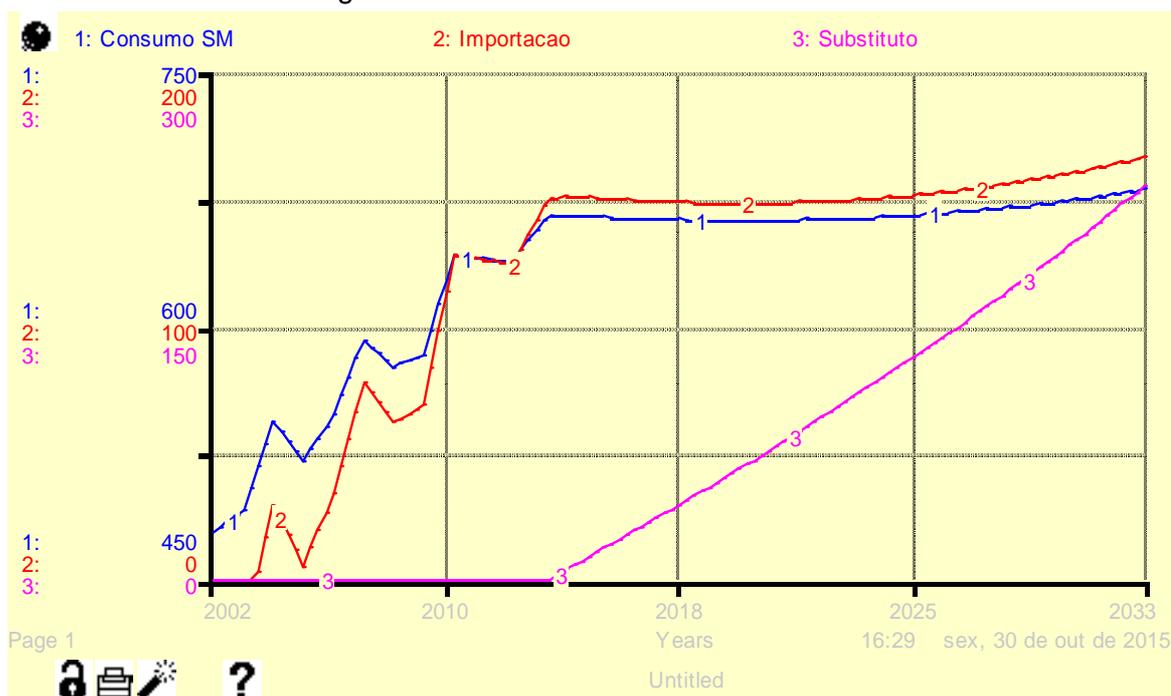
Pode ser verificado no gráfico da Figura 46, no segmento em azul, que o consumo de SM oscilou entre 470 e 670 kTon ao ano. O consumo de SM ainda exhibe forte declínio no período em análise. A importação, que é representada pelo segmento em vermelho do mesmo gráfico, teve como valor máximo

aproximadamente 150 Kton ao ano e, no período analisado, mostra forte queda, chegando a zero. Já os substitutos, representados no gráfico pelo traço rosa, exibem acentuada utilização, iniciando em zero e chegando a aproximadamente 170 kTon ao ano. Esse elevado crescimento dos substitutos é um dos elementos responsáveis pela redução do consumo de estireno neste cenário. O cenário em questão pode indicar desinvestimentos no setor, ou ainda elevados investimentos em pesquisas de desenvolvimento de novas aplicações para compensar a perda de mercado do estireno.

#### 5.2.4 Cenário 4: “Sapo Escaldado”

Neste cenário, existe considerável crescimento da atividade econômica, mas também aumentam as pesquisas para o desenvolvimento de novos produtos. O estireno começa a ser fortemente ameaçado pelos substitutos. O crescimento da economia e o desenvolvimento de novos produtos podem influenciar a utilização de substitutos em uma maior escala. Esse cenário limita o crescimento do mercado de estireno, mesmo que haja aumento da atividade econômica. Na Figura 47, pode ser observada a tendência do mercado.

Figura 47: Demanda de estireno cenário 4



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Consumo de SM, representado pelo segmento em azul no gráfico da Figura 47, variou aproximadamente de 470 a 680 kTon ao ano. A importação, representada pelo traço em vermelho do mesmo gráfico, obteve valores entre zero e 170 kTon ao ano. Já os substitutos, representados em rosa no gráfico da Figura 47, apresentaram valores aproximados entre zero e 230 kTon ao ano.

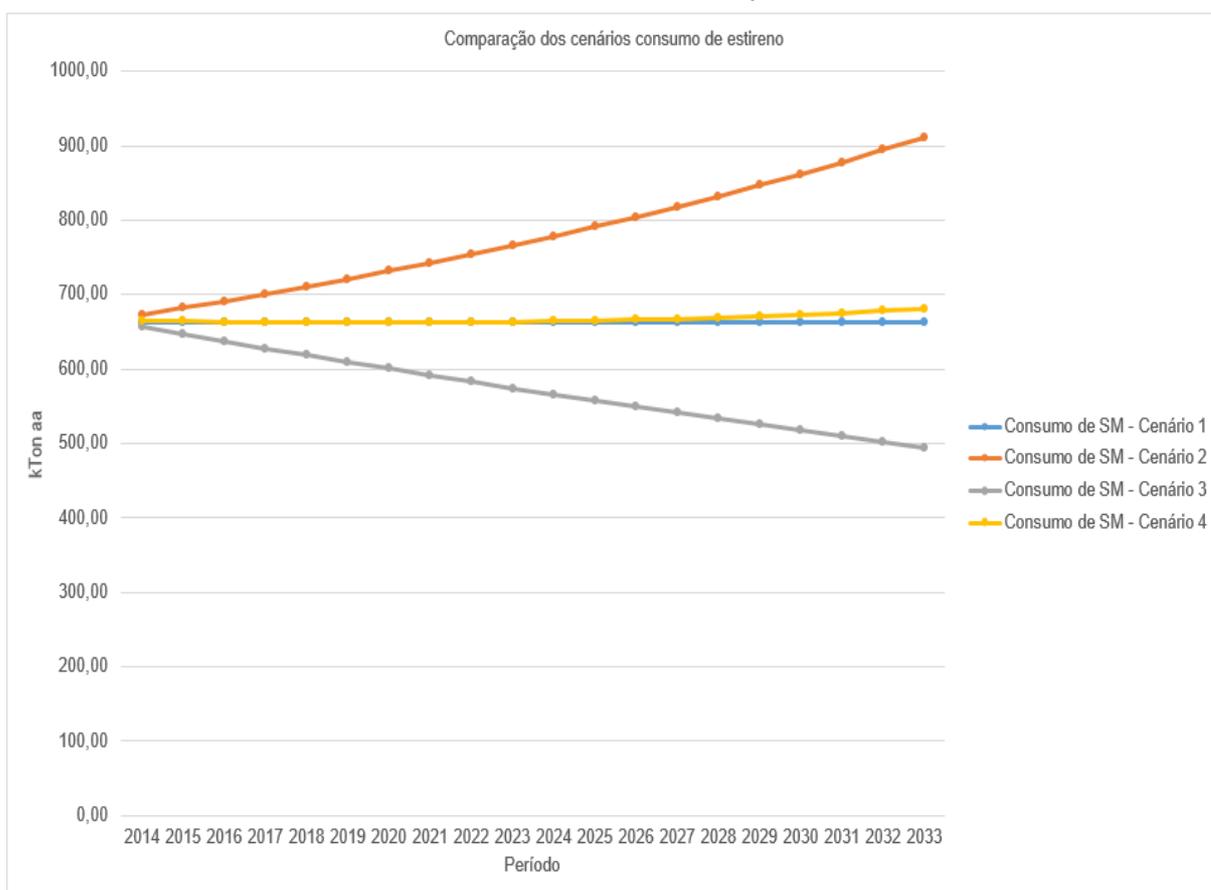
No cenário em análise, observa-se que o consumo de substitutos cresce em um nível superior ao de estireno. Nesse caso, as empresas de estireno não devem fazer investimentos somente com base no crescimento da economia, mas perceber o crescimento do consumo de produtos substitutos. Como o nome do cenário sugere, deve-se atentar a mudanças que no futuro podem impactar os resultados das empresas.

Tal cenário exhibe a oportunidade de investimentos consideráveis no setor, a fim de contemplar as necessidades de matéria-prima para as empresas de terceira geração. Porém, exhibe fragilidades do setor, pois o consumo de substitutos está em ascendência, limitando o crescimento das empresas de estirênicos.

### 5.3 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS GERADOS PELO ARTEFATO

Após a análise dos cenários, foi possível verificar que, na maioria deles, haverá demanda maior do que a oferta. Essa situação vem se repetindo ao longo dos últimos anos, como pode ser verificado no decurso deste estudo. O gráfico 3, a seguir, traz o comparativo entre os cenários de consumo de estireno. Pode-se verificar que a demanda será maior no cenário 2. Já o cenário 3 terá a menor demanda em comparação com os demais, o que ocorre em função de questões econômicas e de uma forte tendência de utilização de materiais substitutos. No cenário 3 as questões referentes a investimento em melhorias e em novas unidades mostram-se inviáveis, pois o mercado anuncia forte tendência de queda ao longo do período.

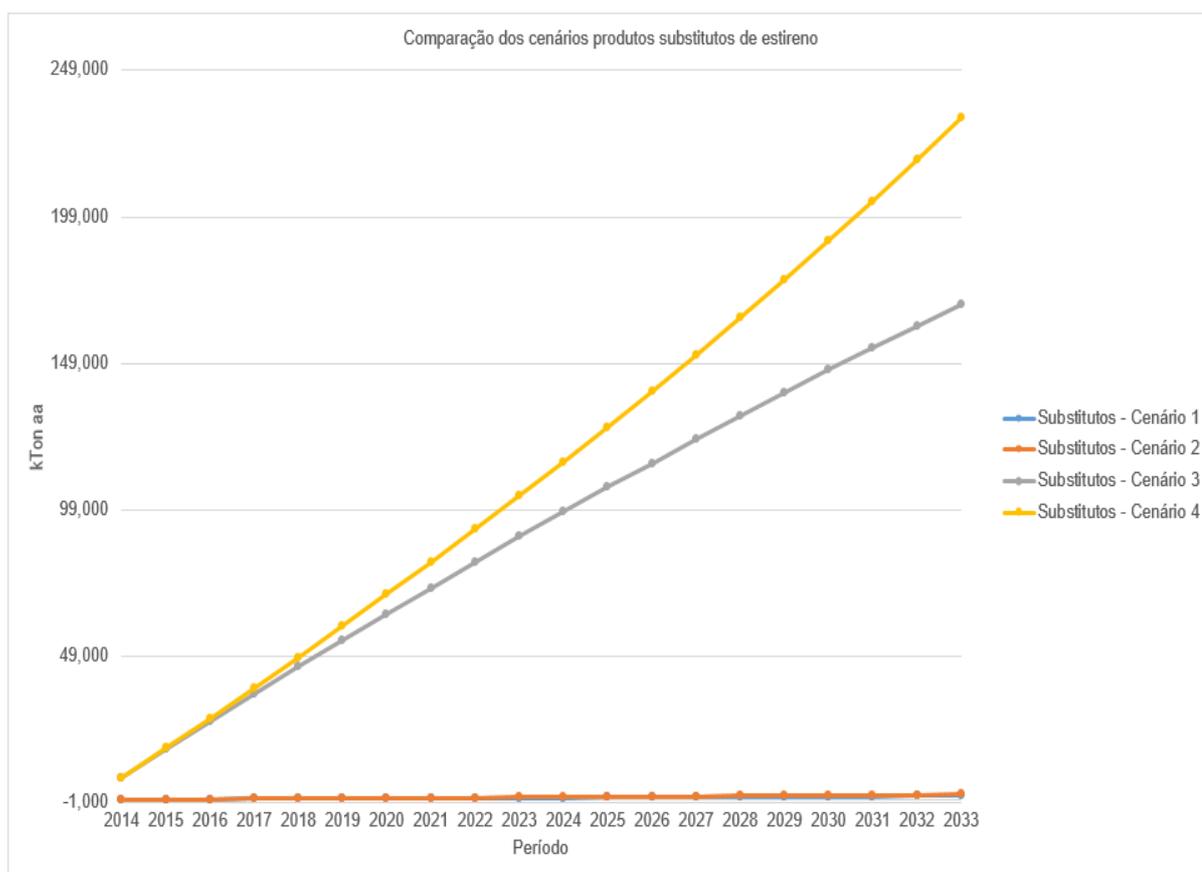
Gráfico 3: Consumo de estireno por cenário



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 3, pode-se observar que somente o cenário 2 é propício aos produtores de estireno. Apesar de a economia estar favorável no cenário 4, o crescimento do setor é limitado, uma vez que há perda de mercado do estireno para produtos substitutos. Essa perda serve como um sinal de alerta para que as empresas invistam em pesquisas e desenvolvimento, a fim de evitar quedas ainda maiores no mercado de estirênicos. No gráfico 4, pode ser verificada a forte tendência de utilização de substitutos ao estireno.

Gráfico 4: Produtos substitutos ao estireno

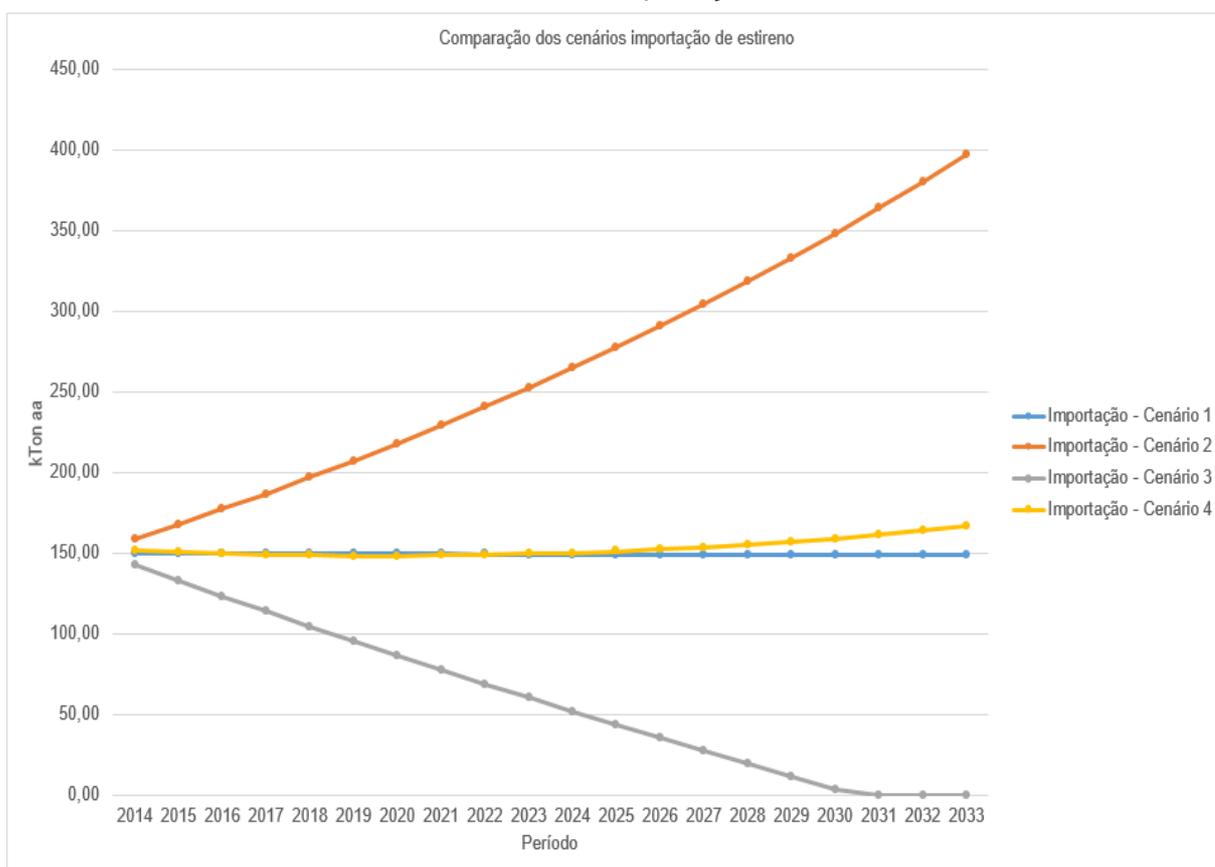


Fonte: Elaborado pelo autor.

O cenário 4 é favorecido em função da economia, pois há aumento no consumo de derivados de estireno e, conseqüentemente, evolução dos substitutos, que acabam por consumir elevada fatia do mercado de estirênicos. O cenário auxilia a visualizar o quanto de mercado os produtores de estireno poderão perder caso o panorama seja consolidado. Ainda no que tange aos produtos substitutos, pode-se verificar, no gráfico 4, que os cenários 1 e 2 estão sobrepostos, e que indicam uma baixa utilização em comparação aos cenários 3 e 4.

A questão da importação de estireno para atender a demanda do mercado local é outra decisão estratégica que deve ser avaliada. Tal fator é relevante porque, como pode ser verificado no gráfico 5, a necessidade de importação permanece em três cenários ao longo de todo o período analisado.

Gráfico 5: Cenários de importação de estireno



Fonte: Elaborado pelo autor.

No cenário 2, a necessidade de importação é de aproximadamente 400 kTon ao ano, evidenciando a grande possibilidade de novas empresas serem construídas para atender a demanda nacional. Até no cenário 3, que se mostra o pior para o mercado de estireno, ainda permanece a necessidade de importação até meados de 2030, sendo que apenas no final do período a importação não é mais necessária devido à demanda passar a exceder a capacidade. Tal cenário exhibe questões importantes, pois caso sejam realizados investimentos antes de 2030 para atender a demanda, no final do período haverá capacidade ociosa, e o investimento não terá sido válido. Nesse caso, deverá se investir em exportações para compensar a perda de mercado local e utilizar a capacidade instalada.

Alguns dos cenários simulados exibem a possibilidade de incremento na oferta. No caso do cenário 3, este traz a possibilidade de desinvestimento no setor, pois a demanda sofre redução no período, e grandes investimentos não se mostram favoráveis. Os tomadores de decisão das empresas podem realizar investimentos nos processos, tanto em incremento de capacidade das instalações existentes

quanto em construção de novas unidades, somente no caso do cenário 2. Nos cenários 1, 2 e 4, as empresas podem realizar investimentos no setor e, em vez de importar, tornar-se exportadoras, no caso de haver capacidade superior à demanda.

No que tange ao modelo de avaliação dos cenários, este mostrou-se eficiente, possibilitando aos gestores repensarem sobre o futuro do mercado de estireno, principalmente no que diz respeito à introdução de novos materiais, pois, conforme Schwartz (2000), o novo é difícil de antecipar. O papel dos cenários é, pois, organizar os fatores, de maneira que iluminem as decisões em vez de obscurecê-las. Nesse caso, a utilização do modelo auxilia os gestores na tomada de decisão, contribuindo para decisões mais eficazes para o negócio como um todo. O efeito dessas ações poderá ser sentido ao longo do tempo.

#### 5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a construção e a avaliação dos cenários por meio do artefato desenvolvido. Os resultados mostraram que a utilização do modelo foi significativa, pois possibilitou a extração de diversas questões estratégicas relevantes, tais como a necessidade de ampliar a oferta de estireno e de atentar para pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e/ou aplicações do estireno a fim de não haver perda significativa de mercado para produtos substitutos. Ainda foi possível verificar o potencial que o mercado tem de se tornar exportador ao invés de importador, agregando valor ao mercado local de estirênicos.

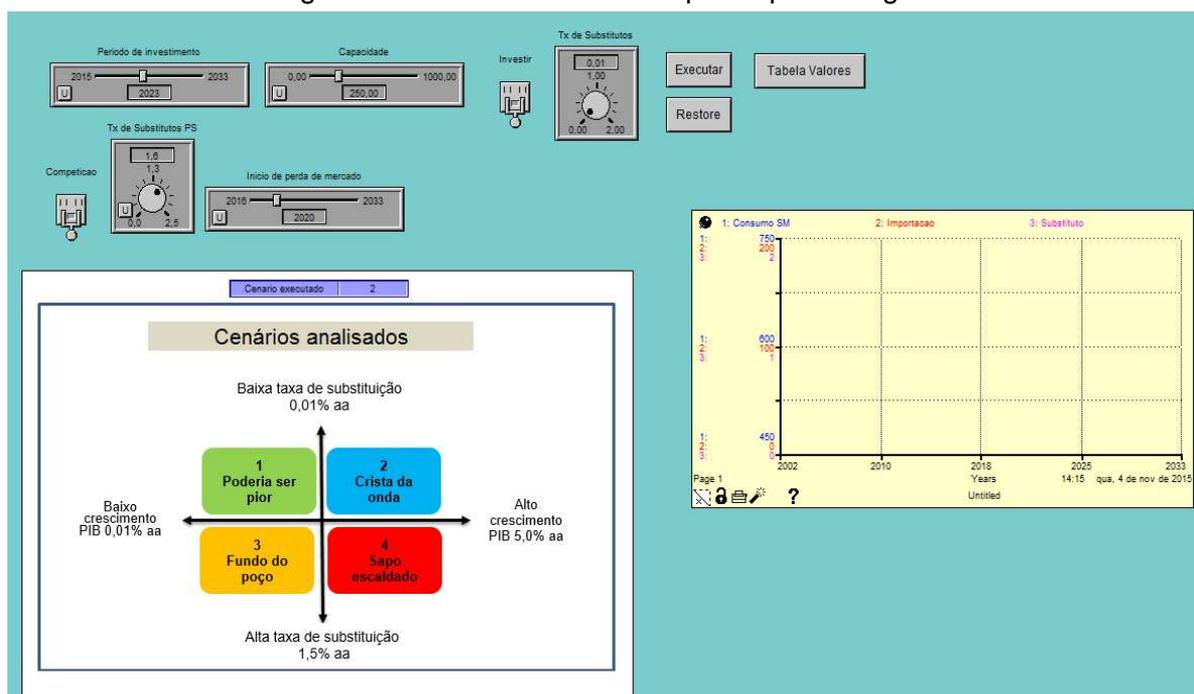
## 6 AVALIAÇÃO DOS ARTEFATOS DE VISUALIZAÇÃO E XMILE

Este capítulo relaciona-se às Fases III e IV do método de trabalho. A Fase III tem como principais objetivos avaliar o artefato de visualização desenvolvido em termos de funcionalidade e praticidade e gerar aprendizagem estratégica. Na Fase IV, busca-se avaliar o artefato XMILE quanto à utilização do padrão de compartilhamento de modelos XMILE.

### 6.1 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO DE VISUALIZAÇÃO E SÍNTESE DAS APRENDIZAGENS DOS ENTREVISTADOS

Esta seção avalia o artefato construído através das opiniões dos entrevistados nos quesitos de aplicabilidade do artefato para gerar aprendizagem e como ferramenta de planejamento em longo prazo. Para divulgar o trabalho resultante, foram convidados os entrevistados e mais duas pessoas de fora do grupo. Assim, para a apresentação do artefato final, foi construída uma interface para executar os cenários e ainda, para realizar diferentes cenários a fim de gerar aprendizagem durante o processo. Na Figura 48 pode ser visualizada a interface utilizada.

Figura 48: Interface do modelo para aprendizagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante a apresentação dos cenários, foram realizados questionamentos aos entrevistados, a fim de promover maior familiaridade com o modelo e de testar os modelos mentais. Foram efetuadas perguntas como “o que acontece com a demanda do estireno no cenário 4, no qual há 5% de variação positiva no PIB e 1,5% de taxa de substituição?” Após o questionamento, os entrevistados foram convidados a responder com base no conhecimento sobre o assunto. Abaixo seguem algumas respostas que os entrevistados expuseram ao grupo:

*“Creio que há forte elevação na demanda de estireno e os 1,5% não terá grandes impactos na demanda final, pois o estireno é fortemente impactado com as variações do PIB e sempre que o PIB cresce a demanda cresce junto”. (ENTREVISTADO 1, 2015).*

*“Imagino que a demanda deva crescer, mas vai ser impactada com os substitutos, logo continua sendo um cenário favorável para a indústria como um todo. E ainda acho que somente 1,5% ao mês não haverá impacto significativo na demanda ao longo do período”. (ENTREVISTADO 2, 2015).*

Após essas respostas, foi executado o modelo com o cenário 4, e todos ficaram surpresos ao verem os resultados, pois não imaginavam que 1,5% ao ano na substituição do estireno poderia gerar um impacto tão significativo na demanda. Em seguida, os entrevistados foram questionados quanto aos resultados do modelo, e foram unânimes em reconhecer que o estireno pode ser influenciado pelos produtos substituídos e necessitar de estratégias para se manter no mercado de petroquímicos. Um dos entrevistados relatou:

*“Precisamos adotar estratégias para monitorar a evolução dos substitutos ao estireno para não perdermos mercado. Uma estratégia seria desenvolver produtos para competir com o Polipropileno e polietileno. Também competir com a celulose pode ser uma saída, pois o poliestireno pode competir em determinados segmentos”. (ENTREVISTADO 4, 2015).*

As respostas dos entrevistados mostram a eficiência do modelo em desafiar os modelos mentais dos tomadores de decisão. Embora superficial, a análise do entrevistado 4 serviu para nortear discussões referentes aos modelos mentais dos entrevistados, dando suporte para futuras tomadas de decisão.

Após a simulação dos cenários, o modelo foi utilizado para testar possíveis decisões no que tange à oferta de estireno. Um dos cenários alternativos foi a questão de quando seria o melhor momento para ampliar a oferta e o quanto deveria ser ampliada. Como base para a simulação, foi utilizado o cenário 4, com a construção de uma nova unidade de produção no ano de 2022 com capacidade de 250 Kton ao ano. O resultado da simulação, apresentado na Figura 49, foi assim comentado por um dos entrevistados:

*“Não seria uma boa estratégia, pois a oferta será maior do que a demanda e verifica-se que a demanda cresce menos do que os produtos substitutos. Quem sabe deveria ser dado ênfase em desenvolver novos materiais para aplicar o estireno e concorrer com os biopolímeros”.* (ENTREVISTADO 4, 2015).

Figura 49: Cenário com acréscimo na oferta

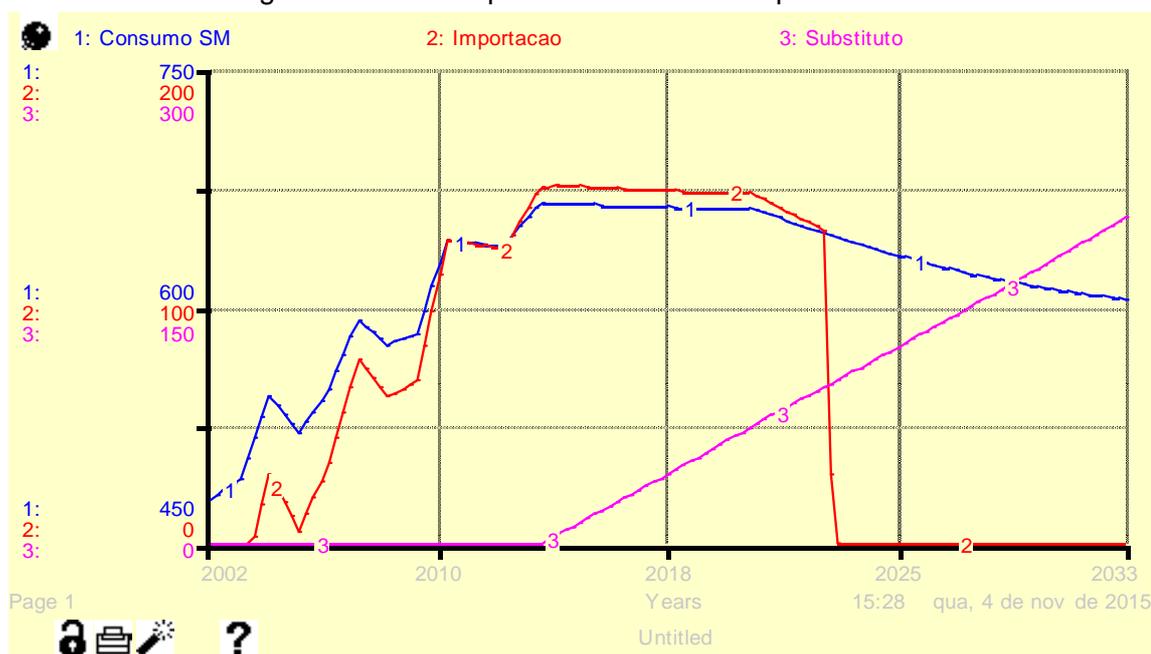


Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico da Figura 49, o Consumo de SM, representado em azul, teve uma variação média de 450 a 680 kTon ao ano. A importação, expressa em vermelho na mesma figura, teve valores variando de zero a aproximadamente 150 kTon ao ano. A queda na importação é representada por aumento na oferta, conforme foi proposto no exercício de aprendizagem. Já os substitutos, em rosa, tiveram um forte crescimento, saindo do zero a chegando a aproximadamente 200 kTon ao ano.

Ainda com o intuito de utilizar o modelo para aprendizagem, foi realizado um cenário alternativo, em que há competição entre o poliestireno e outros polímeros. Como cenário base, foi utilizado o mesmo cenário anterior, com acréscimo de uma nova unidade capaz de produzir 250 kTon e, a partir de 2020, o poliestireno passa a perder participação de 2% no consumo de derivados para outros polímeros. O resultado da simulação é apresentado na Figura 50.

Figura 50: Cenário perda de mercado do poliestireno



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico da Figura 50, o Consumo de SM, em cor azul, saiu de valores próximos a 450 e chegou a valores próximos a 680 kTon ao ano. A importação, em vermelho na mesma figura, saiu de zero, chegou a aproximadamente 150 kTon ao ano, e caiu novamente a zero. Tanto a importação quanto o consumo de SM sofreram impacto em razão da perda de mercado proposta no exercício de aprendizagem e também em função da expressiva utilização dos substitutos, que exibem grande evolução no período, saindo de zero e chegando a aproximadamente 200 kTon ano para este cenário, como mostra o traço em rosa na figura.

Após a execução deste último cenário, os entrevistados observaram, como ponto positivo, a praticidade em testar diferentes cenários alternativos com simples modificações no painel de interface. Ainda como ponto positivo, foi citado:

*“Com este modelo implantado aqui na empresa, poderá auxiliar na tomada de decisão e não ficaremos somente com análises dos relatórios com previsões de curto período e sem a possibilidade de alterar parâmetros conforme a nossa realidade. Realmente ferramentas como esta são de grande importância para os nossos planejamentos”.* (ENTREVISTADO 2, 2015).

A fim de otimizar os resultados, os entrevistados foram questionados sobre o que deveria ser melhorado nos próximos trabalhos. Todos mostraram grande interesse pela metodologia utilizada para construir o artefato e sugeriram novas aplicações, como por exemplo: área de vendas e visualização de preço do estireno, que depende de diversos fatores, como contratos de longo prazo com a maioria dos clientes. Ainda como sugestão, está a realização de um seminário em que o método de trabalho seja apresentado a um maior número de pessoas dentro da empresa. Por fim, sugeriu-se utilizar o modelo para visualizar cenários com período menor de tempo, no caso anual. Durante a etapa de avaliação do artefato, foi possível verificar o interesse dos participantes em realizar novos projetos com base na dinâmica de sistemas.

## 6.2 AVALIAÇÕES DO MODELO XMILE

Após a construção e validação do modelo de verificação, foi utilizado o padrão XMILE, uma linguagem de programação<sup>1</sup> em XML aberta para compartilhamento e portabilidade de modelos de dinâmica de sistemas.

### 6.2.1 Diagramas de fluxo

Fluxos representam as taxas de variação dos estoques. Eles podem ser definidos usando qualquer expressão algébrica. Durante o curso de uma simulação, um valor de fluxo é calculado e utilizado no cálculo dos níveis subsequentes. Na Figura 51, pode-se visualizar o diagrama de fluxo empregado neste estudo utilizando o software iThink<sup>®</sup>.

---

<sup>1</sup> Linguagem de programação é um método padronizado para comunicar instruções para um computador (DERSHEM; JIPPING, 1995).

Figura 51: Diagrama de fluxo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na linguagem XML, o mesmo diagrama de fluxo da Figura 51 é representado em forma de linguagem de programação, como mostra a Figura 52.

Figura 52: Diagrama de fluxo XML

```
<flow name="Demanda_PS">
  <eqn>61.220+2.127*Linha_branca</eqn>
  <non_negative />
  <display x="234" y="217" color="blue" label_side="top" label_angle="85">
    <pts>
      <pt x="185" y="217" />
      <pt x="283" y="217" />
    </pts>
  </display>
</flow>
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

A equação utilizada para calcular o valor da Demanda de PS pode ser vista na segunda linha da Figura 52 ( $\text{<eqn>61.220+2.127*Linha\_branca</eqn>$ ). Um dos benefícios de utilizar o modelo XMILE é a simplicidade para alterar os parâmetros do modelo. Para isso, basta abrir o modelo em qualquer editor de texto, localizar a variável "Demanda\_PS" e alterar os valores da equação, sem a necessidade de usar um software específico de dinâmica de sistemas para alterar parâmetros.

A utilização de funções gráficas para entrada de dados em fluxos no iThink<sup>®</sup> é semelhante à Figura 52, porém apresenta um símbolo dentro do fluxo, salientando que os dados advêm de um conjunto de valores gráficos, como mostra a Figura 53.

Figura 53: Diagrama de fluxo com conjunto de valores gráfico



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na linguagem XML, o diagrama de fluxo com conjunto de valores gráficos é conforme o exibido na Figura 54.

Figura 54: Diagrama de fluxo gráfico XML

```

</flow>
<flow name="Linha_branca">
  <eqn>TIME</eqn>
  <non_negative />
  <gf>
    <xscale min="2002" max="2013" />
    <yscale min="0" max="100" />
    ypts>100.00083333333301,101.021666666667,119.8725,118.363333333333,130.175833333333,137.09,
    131.134166666667,130.542499999999,147.46250000000001,147.95500000000001,150.45416666666699,
    156.54833333333301</ypts>
  </gf>
  <display x="85" y="215" color="blue" label_side="top" label_angle="85">
    <pts>
      <pt x="41" y="215" />
      <pt x="130" y="215" />
    </pts>
  </display>

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em caso de necessidade de alteração de algum dos valores oriundos do gráfico, basta abrir o modelo em um editor de texto e alterar o parâmetro de entrada. Nesse caso, a função apresentada na terceira linha na Figura 54 representa um intervalo de tempo (<eqn>TIME</eqn>). Já o período dos dados está na sexta linha (<xscale min="2002"max="2013" />), sendo este o intervalo temporal de análise para verificação do modelo. O modelo XMILE completo desenvolvido em XML é apresentado no Apêndice V deste trabalho. Na próxima subseção, o modelo construído é executado com a utilização de outro software, a fim de atender um dos objetivos específicos deste trabalho.

### 6.2.2 Portabilidade do modelo XMILE

Conforme relatório publicado pela OASIS<sup>2</sup> e e-mail do principal pesquisador do XMILE (Anexo I), o XMILE é utilizado por diferentes desenvolvedores de softwares, como iThink®, STELLA® e Insight Maker. Além disso, existe interesse de outros desenvolvedores de software, como SDM-Doc, Vensim e Anylogic, em utilizar o padrão de compartilhamento de modelos. Esses desenvolvedores julgam importante a

<sup>2</sup> Disponível em: [https://www.oasis-open.org/committees/document.php?document\\_id=53613&wg\\_abbrev=xmile](https://www.oasis-open.org/committees/document.php?document_id=53613&wg_abbrev=xmile). Acesso em: 21/10/2015.

adoção da compatibilidade com modelos XMILE para difundir o uso da dinâmica de sistemas na solução e no entendimento de problemas sociais e/ou industriais.

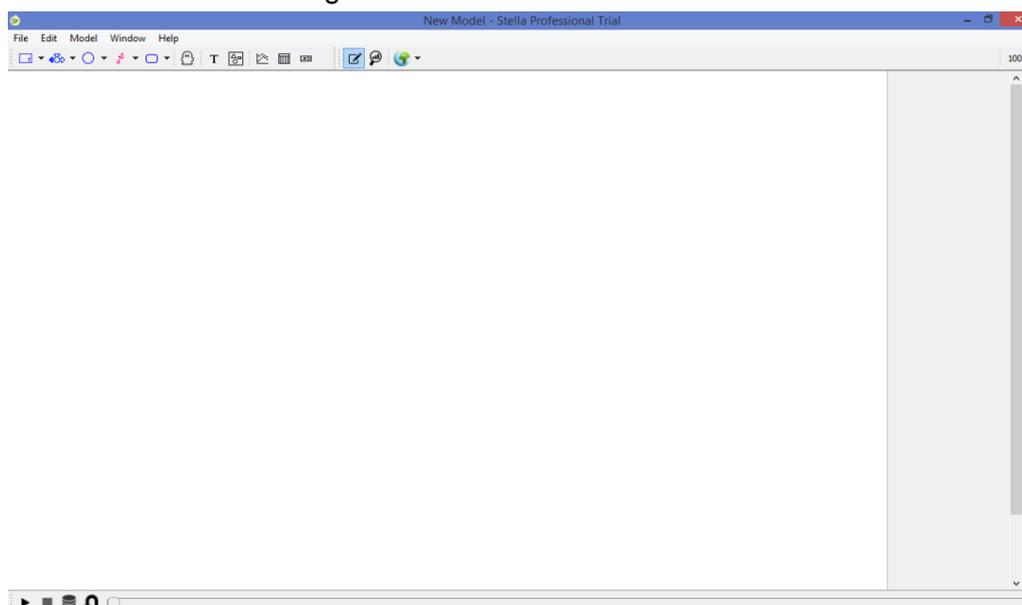
Devido a ainda limitada quantidade de softwares disponíveis para executar modelos XMILE, neste trabalho será testado o modelo em três diferentes softwares. O primeiro é o iThink<sup>®</sup>, onde o modelo foi desenvolvido e validado, e o segundo é o STELLA<sup>®</sup>, ambos desenvolvidos pela *Isee Systems*. Apesar de serem desenvolvidos pela mesma empresa, os dois softwares possuem características diferentes, conforme o fabricante<sup>3</sup>.

Ao escolher entre STELLA ou iThink, deve-se pensar nos tipos de modelos que se pretende construir e nos problemas que serão analisados. Se o objetivo é a melhoria do negócio, o recomendado é o iThink, pois, conforme o desenvolvedor, ele tem um ajuste melhor. Se o objetivo é compreender a dinâmica de um ambiente natural ou de um sistema social, o STELLA provavelmente é a melhor opção.

#### 6.2.2.1 Executando o modelo XMILE no Software STELLA

Para executar o modelo no software STELLA, utilizou-se a versão Professional 1.0.2. Na Figura 55, é apresentada a tela inicial dessa versão do STELLA.

Figura 55: Tela inicial do STELLA

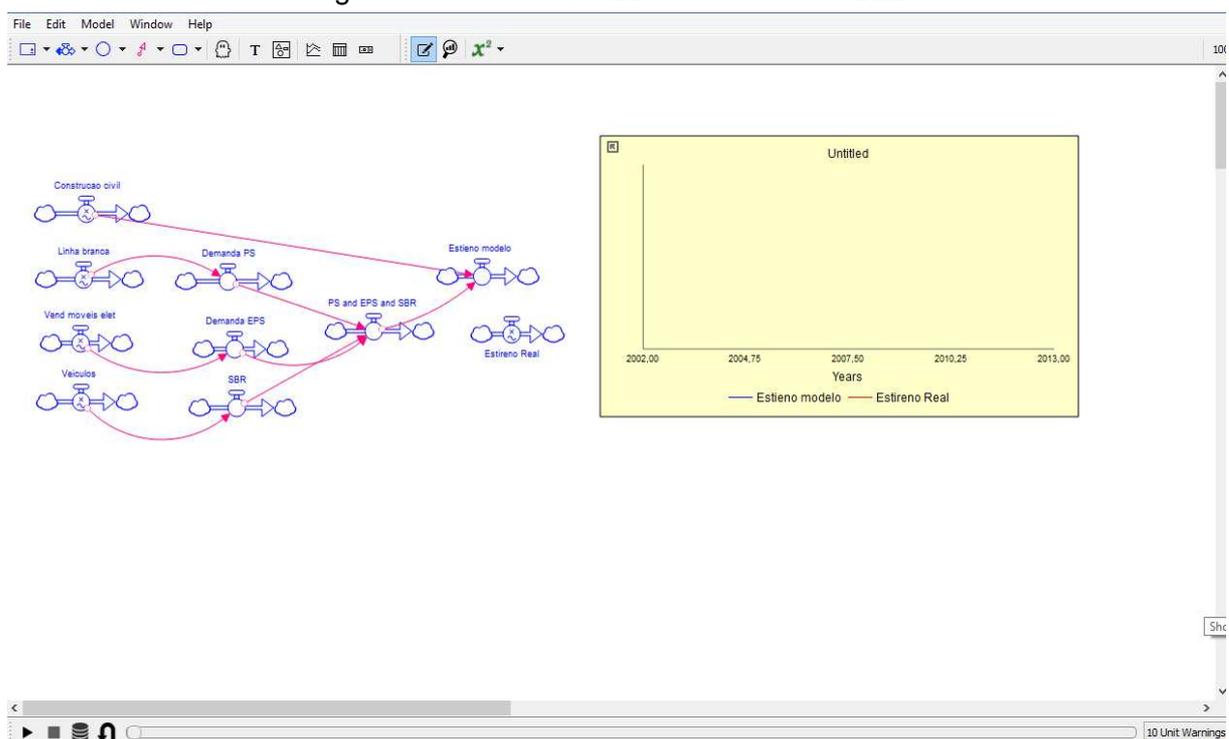


Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>3</sup> Disponível em: <http://blog.iseesystems.com/stella-ithink/what-is-the-difference-between-stella-and-ithink/>. Acesso em: 21/10/2015.

Após a execução no software iThink, o modelo foi salvo em um arquivo do bloco de notas com extensão .txt. Em seguida, foi executado o STELLA e localizado o arquivo gerado com a extensão .txt. A apresentação do modelo no STELLA ficou como mostra a Figura 56.

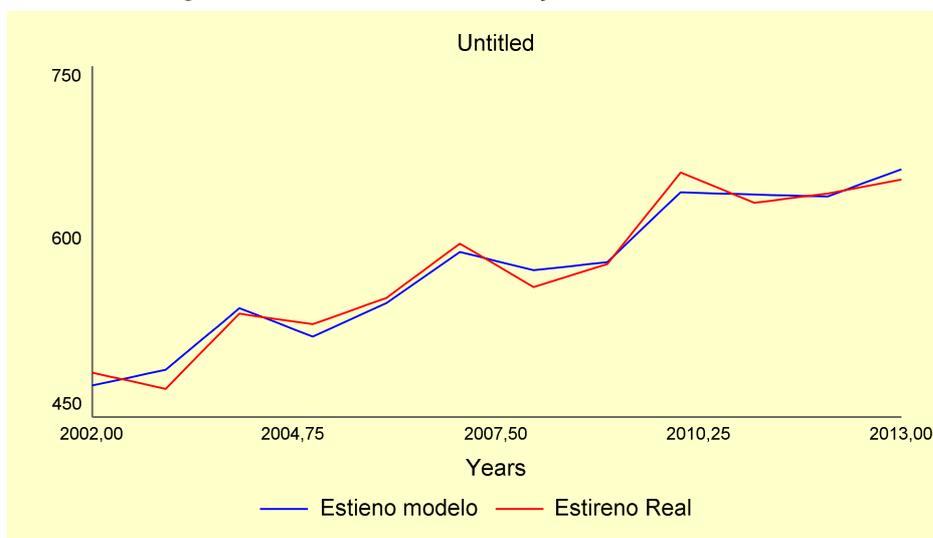
Figura 56: Modelo XMILE no software STELLA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 56, o modelo possui as mesmas características quando executado com o software iThink. Da mesma forma, verifica-se que a qualidade dos resultados é a mesma encontrada ao utilizar o iThink. A saída do modelo é apresentada na Figura 57, abaixo.

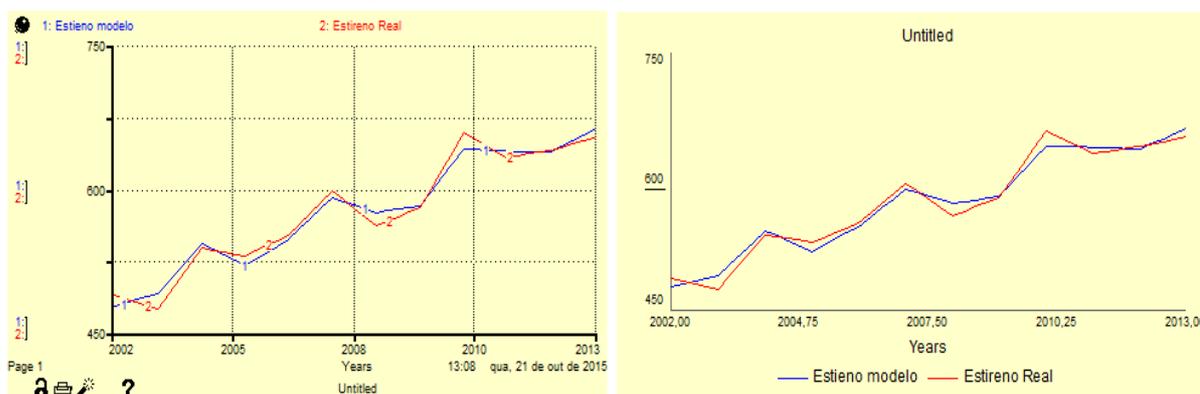
Figura 57: Modelo de verificação XMILE STELLA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 58, são comparados os gráficos de saída dos dois softwares, iThink e STELLA. O gráfico da direita foi gerado pelo STELLA, e o da esquerda pelo iThink.

Figura 58: Saídas do iThink e do STELLA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na figura 58, não há diferença entre os formatos das curvas geradas pelos gráficos dos diferentes softwares. Como benefício a ser salientado, é que esses gráficos têm a construção simplificada. Isso acontece porque os nomes, assim como os valores dos eixos das variáveis, são plotados automaticamente nos gráficos, sem a necessidade de maiores ajustes.

## 6.2.2.2 Utilizando o software Insight Maker como o modelo XMILE

O Insight Maker é um software de modelagem e simulação livre, que utiliza o navegador da internet para executar os modelos de simulação. Conforme os desenvolvedores do XMILE, o software Insight Maker possui uma grande vantagem, pois possibilita o compartilhamento dos modelos diretamente no site do software<sup>4</sup>. Na Figura 59 é apresentada a tela inicial do Insight Maker.

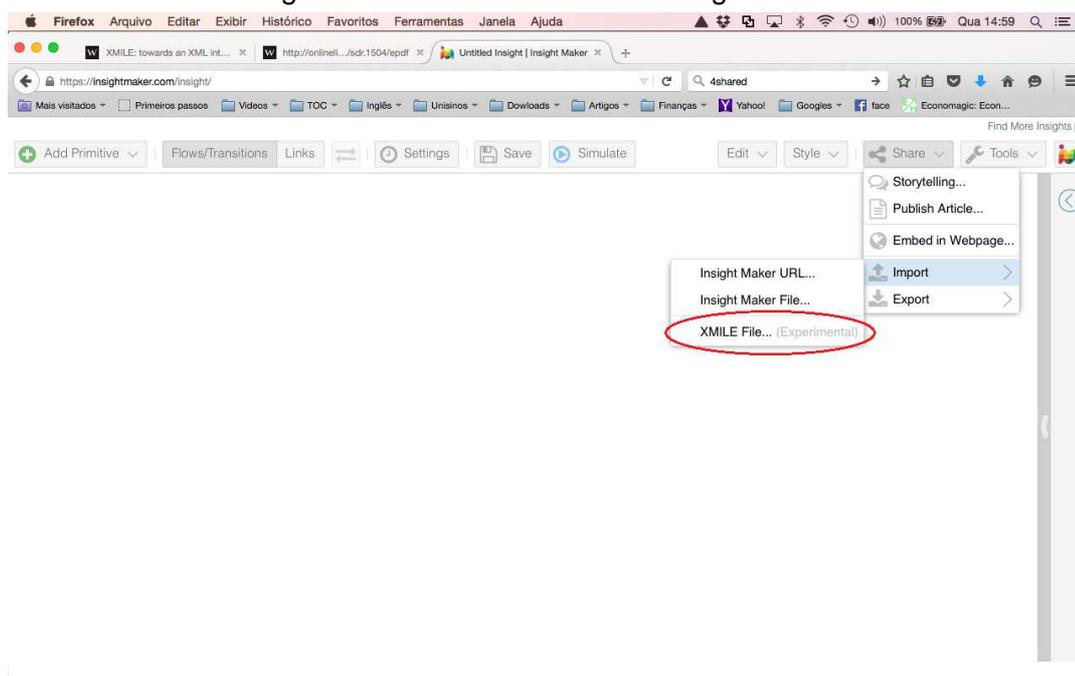
Figura 59: Página inicial do Insight Maker

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um dos diferenciais do Insight Maker é ser bastante intuitivo. Como pode ser observado na Figura 59, já na tela inicial o software apresenta exemplos de construção de modelos. No entanto, apesar de os desenvolvedores do XMILE afirmarem que o Insight Maker possui suporte para executar os modelos XMILE, na área de importação de modelos XMILE a função ainda está em fase experimental, como pode ser verificado na Figura 60.

<sup>4</sup> Disponível em: <https://insightmaker.com/insight/>. Acesso em: 21/10/2015.

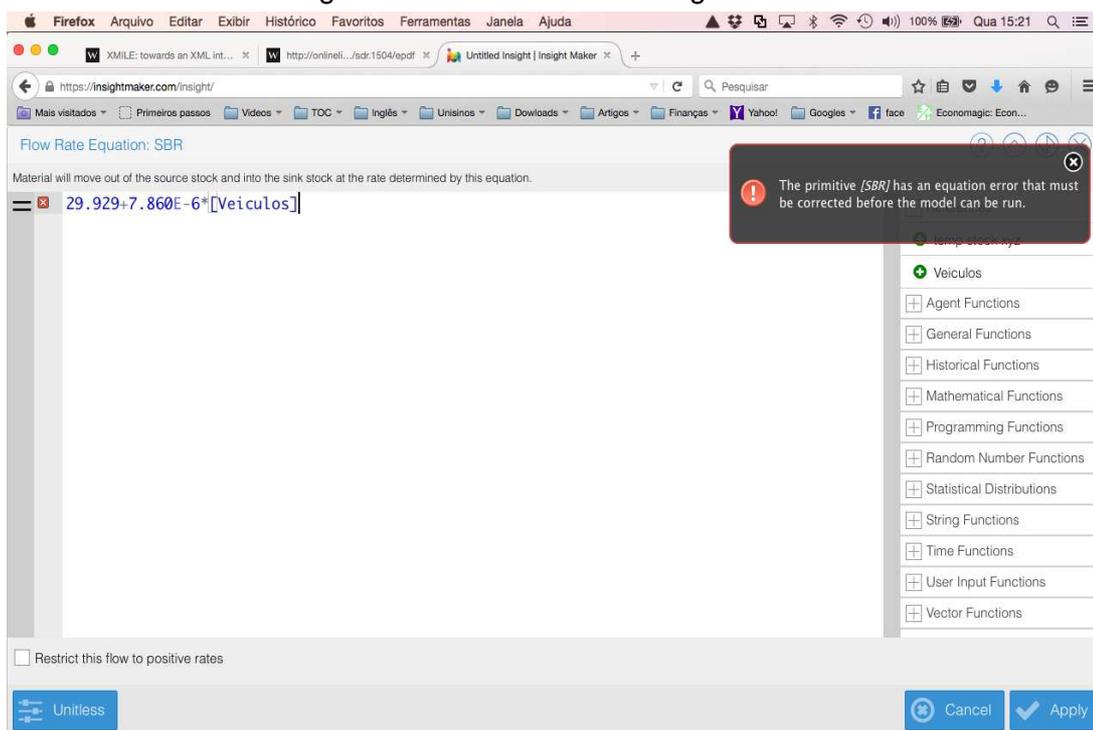
Figura 60: Área de trabalho do Insight Maker



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao se executar a função oferecida pelo software de importar o modelo em XMILE, ocorreu um erro, sendo solicitado que fossem corrigidas as variáveis de entrada, como mostra a Figura 61.

Figura 61: Tela de erro do Insight Maker



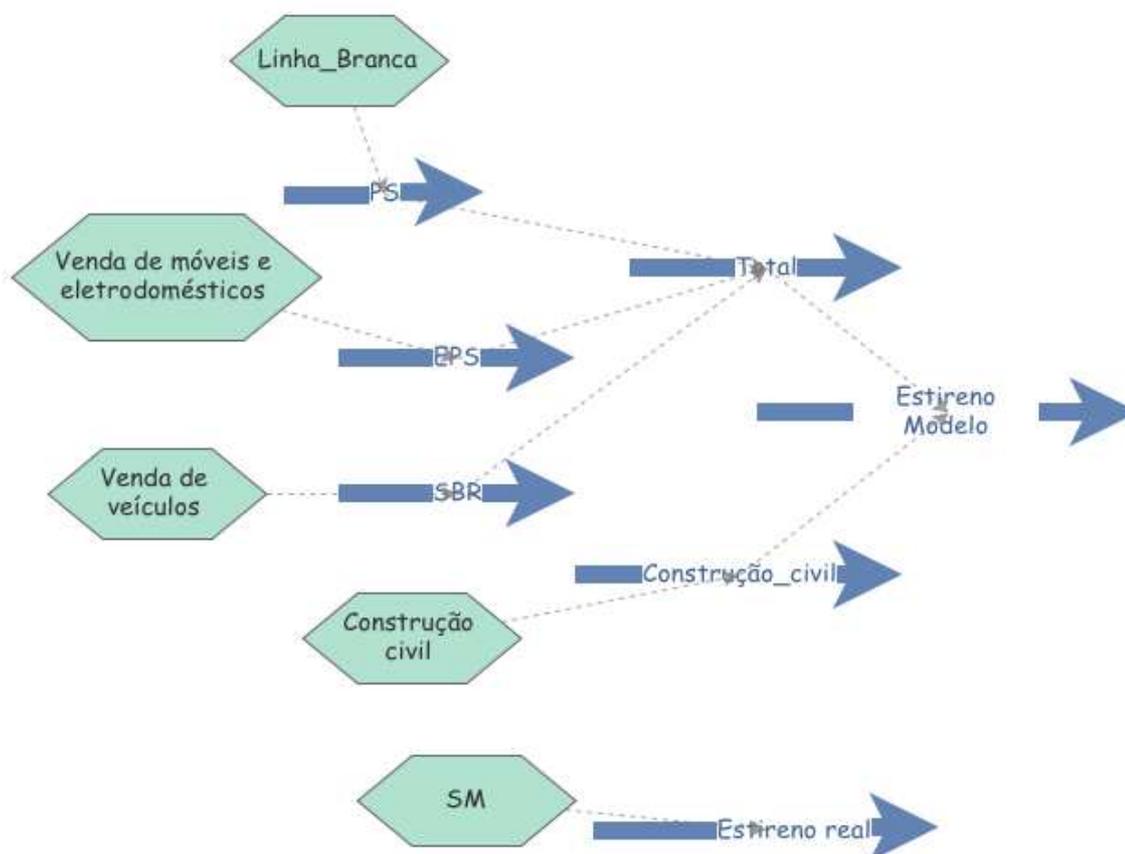
Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, apesar de o desenvolvedor afirmar que o Insight Maker é compatível com os modelos XMILE, constatou-se que não há compatibilidade total com o modelo. Vale salientar que, como pode ser observado na Figura 61, a ferramenta ainda está em evolução no que tange à importação de modelos XMILE.

Após verificação das funcionalidades, pode-se constatar que o software apresentou erro em virtude de somente haver fluxos no modelo, com os dados de entrada oriundos de uma série temporal. Mesmo que o Insight Maker possua a função de importar modelos XMILE, não se pode afirmar que todos os modelos XMILE serão executados nessa ferramenta, pois, como foi observado, ela ainda necessita ser melhorada pelos desenvolvedores do software.

Com a intenção de simular o modelo no Insight Maker, foram realizados os ajustes necessários para executar o modelo nessa plataforma. Na Figura 62, é apresentada a transcrição do modelo utilizando o Insight Maker como software de simulação.

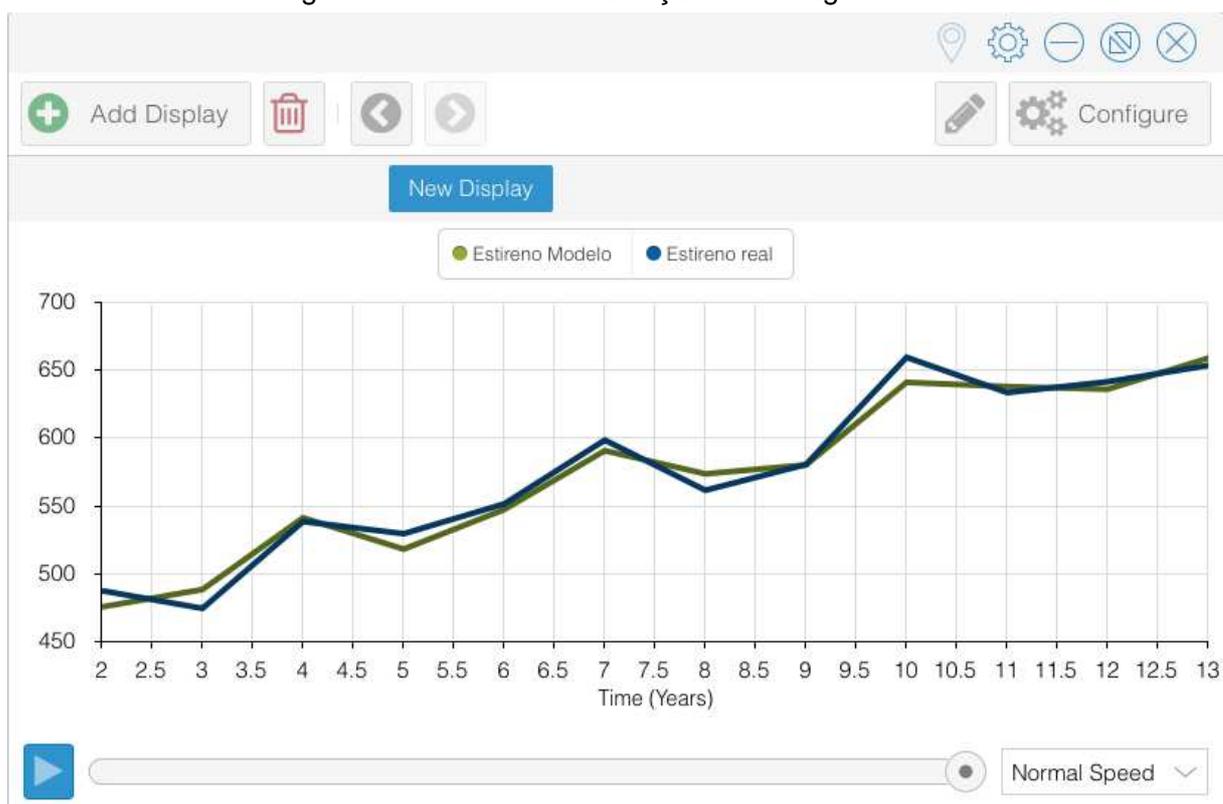
Figura 62: Modelo de Verificação no Insight Maker



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma das principais diferenças entre os softwares Stella, iThink e Insight Maker é a necessidade de variáveis auxiliares para construção de séries históricas, pois os fluxos não aceitam a inclusão de dados oriundos de tabelas, como as outras ferramentas utilizadas neste trabalho. A Figura 63 apresenta o resultado da simulação utilizando o Insight Maker como plataforma.

Figura 63: Modelo de verificação com Insight Maker



Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os segmentos no gráfico da Figura 63, observa-se que o modelo é aderente à série histórica de consumo de Estireno real, conforme ocorreu com o iThink e o Stella. Um ponto a ser destacado é a necessidade, durante a construção dos gráficos, de selecionar as variáveis e de definir os limites dos eixos, o que não é preciso nos outros softwares testados neste trabalho. Na Figura 64, é realizado um comparativo entre as saídas do modelo geradas no Stella, na parte inferior, e no Insight Maker, na parte superior da figura.

Figura 64: Comparativo das saídas do modelo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em ambos os gráficos da Figura 64, o Estireno Modelo e o Estireno real tiveram os limites aproximadamente entre 470 e 650 kTon ao ano. Embora o software de dinâmica de sistemas Insight Maker esteja em fase de evolução, foi possível executar o modelo realizando alguns ajustes, sem perda na qualidade dos resultados. Assim, o software em questão mostrou-se uma opção aos demais que foram utilizados nesta pesquisa. Um dos diferenciais do Insight Maker é o fato de ele ser um software livre, ainda sem custos para utilização. No entanto, os modelos

construídos no Insight Maker ainda não podem ser exportados no padrão XMILE. Esse é, portanto, outro ponto a ser melhorado pelo desenvolvedor, a saber, tornar o software compatível com o padrão XMILE.

Dessa forma, pode-se concluir que a portabilidade dos modelos é uma realidade. Mesmo que haja limitações, como pode ser constatado, já existe uma tendência para a adoção de modelos portáteis construídos em uma plataforma genérica, sem a necessidade de um software específico para serem executados.

### 6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo teve como propósito executar as Fases III e IV do método de trabalho utilizado na pesquisa. A avaliação mostra que o artefato atingiu as expectativas no que tange à aprendizagem dos tomadores de decisão. Foi possível verificar, na etapa de avaliação do artefato, que ele pode ser uma ferramenta importante para suporte na tomada de decisão no que tange à demanda de estireno. Além disso, acredita-se, também, que as melhorias recomendadas colaborarão para resultados ainda melhores em futuras aplicações do método.

Para atender a Fase IV do método de trabalho, este capítulo apresentou também a avaliação da utilização do padrão XMILE para portabilidade de modelos de dinâmica de sistemas. Pode ser observado que em dois dos três softwares estudados a portabilidade dos modelos é possível. Já em um deles o uso de modelos XMILE ainda é limitado, necessitando de ajustes para rodar.

Uma das vantagens do XMILE é que tanto no ambiente empresarial quanto no acadêmico, o modelo pode ser executado em diferentes softwares, sem o uso do software em que o modelo foi construído. Como exemplo de portabilidade, pode se citar a utilização do Stella para rodar o modelo que foi construído no iThink. Dentre as desvantagens está a quantidade limitada de softwares que aceitam o padrão sugerido pelo XMILE.

Dessa forma verifica-se que, embora com limitações, já existe um movimento de desenvolvedores de softwares no sentido de adotarem um padrão para compartilhamento de modelos de dinâmica de sistemas. Caso esse movimento se concretize, haverá grande evolução na área de dinâmica de sistemas, facilitando e impulsionando o desenvolvimento de modelos a partir do padrão XMILE.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA PESQUISA

Este capítulo aborda os comentários finais da pesquisa, incluindo a avaliação quanto ao atendimento dos objetivos propostos, sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros e limitações da pesquisa.

### 7.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa propôs como questão principal **“Como visualizar a demanda de estireno no mercado brasileiro e gerar aprendizagem para os tomadores de decisão no âmbito estratégico, tendo em vista os possíveis cenários futuros?”**. Para atender essa questão, foi construído um modelo de dinâmica de sistemas utilizando passos do pensamento sistêmico e o planejamento de cenários. No capítulo 4, foi construído o artefato que foi utilizado para responder à principal questão de trabalho. Entende-se que os resultados, gerados e avaliados qualitativa e quantitativamente, atendem a proposta principal da pesquisa, pois o modelo/artefato construído foi capaz de possibilitar a visualização da demanda de estireno em diferentes cenários futuros e de gerar aprendizagem quanto às consequências que determinadas ações no presente terão no futuro.

No objetivo geral desta pesquisa, foi proposto construir um modelo de dinâmica de sistemas que ajudasse a visualizar a demanda futura de estireno no mercado brasileiro. Nos capítulos 5 e 6, foram simulados os cenários propostos e, posteriormente, o modelo foi avaliado pelos entrevistados, sendo considerado robusto para tal aplicação.

No que tange ao objetivo específico **“construir e simular distintos cenários futuros para o mercado de estireno no âmbito nacional”**, buscou-se atendê-lo no capítulo 5. A construção e a simulação de distintos cenários, no capítulo em questão, mostrou-se de grande importância no entendimento do comportamento da demanda do estireno no futuro.

No que diz respeito ao objetivo específico **“avaliar a utilização do modelo por meio do padrão de compartilhamento de modelos de dinâmica de sistemas XMILE”**, este foi abordado no capítulo 6. Verificou-se que, embora de forma limitada, já é uma realidade a utilização do padrão XMILE no compartilhamento de modelos

nesse padrão. O objetivo específico **“avaliar o modelo desenvolvido em termos de funcionalidade e praticidade para a geração de aprendizagem estratégica”**, também foi abordado no capítulo 6. A utilização do modelo para gerar aprendizagem confrontou os modelos mentais dos entrevistados, comprovando ser de grande importância no que tange às decisões importantes para as empresas. Questões do tipo “o que aconteceria se?” puderam ser respondidas com o uso do modelo, gerando aprendizagem aos entrevistados a cada resposta obtida.

Do ponto de vista acadêmico, um método para visualização da demanda de estireno foi elaborado, conforme descrito na aplicação do método proposto. Por meio da montagem de uma estrutura sistêmica, as variáveis são integradas e depois avaliadas com análise de correlação, gerando equações de regressão, utilizadas, por sua vez, para construir o modelo de simulação computacional. O modelo foi validado estatisticamente em relação ao histórico e, posteriormente, foram desenvolvidos cenários para simulação, com base no comportamento das variáveis de entrada e nas relações dinâmicas do sistema, fornecendo, como resultado, a expectativa ou visualização da demanda de estireno no mercado brasileiro.

Como conclusão, entende-se que o XMILE pode ser uma boa ferramenta no futuro, porém, devido à limitada utilização por desenvolvedores de softwares, não há grandes vantagens em utilizar esse padrão. Já o uso da dinâmica de sistemas em conjunto com o planejamento de cenários mostrou-se eficiente, pois os entrevistados não possuíam sensibilidade para identificar crescimentos exponenciais ao longo do tempo, com abordagem de diferentes eixos de incertezas.

## 7.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

No que tange às limitações, uma delas foi a pouca quantidade de informações existentes na literatura no que se refere ao consumo de estireno. Alguns dados utilizados nesta pesquisa são oriundos de órgãos como o Sindicato das Indústrias Químicas (MAXQUIM), a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM) e de institutos de classe brasileiros e internacionais. Em função da competitividade existente entre as empresas, os dados acabam sendo confidenciais e não são facilmente divulgados.

Ainda no que tange aos dados utilizados, uma limitação importante foi o período para o qual havia dados disponibilizados. Os dados referentes à indústria química são fornecidos com dois anos de defasagem, assim como os dados divulgados pelas indústrias ao IBGE. Como exemplo, em julho de 2015 foram divulgados os dados das indústrias referentes a 2013.

Como limitação, pode-se considerar ainda o reduzido número de softwares que estão compatíveis com o padrão XMILE. Essa situação limitou um aprofundamento na avaliação da portabilidade dos modelos XMILE. Outro ponto foi a não utilização da oferta global no modelo e nem de questões referentes ao impacto gerado no consumo devido ao custo do estireno. Também não foram abordadas questões como preço do estireno e variação cambial, fator importante na definição do preço do estireno.

Ainda como elemento limitante pode-se citar a não utilização de todas as variáveis das demandas de estireno como, por exemplo, os descartáveis e as embalagens de poliestireno. Essa limitação ocorreu devido ao problema de multicolinearidade encontrado nessas variáveis, muito em decorrência de não serem séries estacionárias, ou seja, com o consumo em evolução durante o período analisado.

O tempo disponível para realizar as atividades é outro ponto limitante desta dissertação. Como salientado por alguns participantes, poderia haver um fórum com participação de um maior número de pessoas, com o intuito de se alcançar mais contribuições. Porém, o limitado tempo disponível dos entrevistados inviabilizou tal possibilidade. Também se pode citar como limitador a participação de entrevistados de uma única empresa, apesar do engajamento de diferentes áreas. Dessa forma, as conclusões e avaliações do modelo foram validadas apenas pela visão desses entrevistados.

Além disso, pode-se citar, ainda, a ausência de explicações de variáveis independentes no modelo, como por exemplo, o PIB, a taxa de substituição, a linha branca, a compra de automóveis, a construção civil e demais variáveis. Da mesma forma, questões logísticas e de incentivos fiscais não foram analisadas, apesar de serem tópicos importantes para explicar a taxa de importação do estireno, principalmente em regiões em que há incentivos fiscais, como na Zona Franca de Manaus.

### 7.3 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Por fim, sugere-se, para pesquisas futuras, um estudo que considere questões referentes a preço do estireno, utilizando as variáveis responsáveis pelas relações sistêmicas de preço juntamente com a demanda local e global do estireno. Também se sugere a avaliação no modelo de polímeros concorrentes com os derivados do estireno, como polietileno e polipropileno. Ainda como sugestão, seria valioso realizar a visualização por derivado de estireno, de modo a entender qual derivado tem maior impacto na substituição do estireno por biopolímeros.

Igualmente, sugere-se uma expansão do modelo, acrescentando mais variáveis para obter melhores resultados. Também é possível aplicar esse modelo para a realização de análises com viés econômico do mercado de estireno. Questões como qual o melhor momento para realizar investimentos e/ou desinvestimentos são aconselháveis, e seriam de importante contribuição. Ainda, como sugestão final, pode-se utilizar as variáveis explicativas das variáveis independentes, assim como, questões referentes a incentivos fiscais e à logística, modelando a influência dessas variáveis na importação de estireno.

## REFERÊNCIAS

ABIQUIM. **Anuário da indústria química brasileira**. 2013.

AESCHELMANN, Florence; CARUS, Michael. Biobased Building Blocks and Polymers in the World: Capacities, Production, and Applications—Status Quo and Trends Towards 2020. **Industrial Biotechnology**. 2015.

AKEN, J. E V. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, March, 2004.

AKEN, J.E. V. Management Research as a Design Science: Articulating the Research Products of Mode 2 Knowledge Production in Management. **British Journal of Management**, v. 16, n. 1, p. 19-36, mar, 2005.

ANDRADE, Aurélio L. Pensamento sistêmico: um roteiro básico para perceber as estruturas da realidade organizacional. **REAd-Revista Eletrônica de Administração**, v. 3, n. 1, 1997.

ANDRADE, A. L. **O curso do pensamento sistêmico**. Print Editora. São Paulo. 2014.

ANDRADE, A. L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R.. **Pensamento Sistêmico: Caderno de Campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade**. Bookman. Porto Alegre. 2006.

BALCI, O. Validation, Verification and Testing Techniques throughout the Life Cycle of a Simulation Study, **Annals of Operations Research**, Vol. 53, p. 121-174, 1994.

BARLAS, Yaman. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. **System dynamics review**, v. 12, n. 3, p. 183-210, 1996.

BASTOS, A. A. P. **A Dinâmica de Sistemas e a compreensão de estruturas de negócios**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2003.

BELLINGER, Gene. Systems thinking-an operational perspective of the universe. **Systems University on the Net**, v. 25, 2006.

BNDES. **Potencial de diversificação da indústria Petroquímica Brasileira**, Relatório 4 – Derivados de aromáticos, Rio de Janeiro, 2014.

BRADFIELD, Ron et al. The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. **Futures**, v. 37, n. 8, p. 795-812, 2005.

CAPRA, Fritjof; LUISI, Pier Luigi. **A visão sistêmica da vida: uma concepção unificada e suas implicações filosóficas, políticas, sociais e econômicas**. 1. ed. São Paulo : Cultrix, 2014.

CAVALCANTE, Luís Ricardo Mattos Teixeira; TEIXEIRA, Francisco Lima Cruz. Maturidade Tecnologia e Intensidade em Pesquisa e Desenvolvimento: o caso da indústria petroquímica no Brasil. **Organizações & Sociedade**, v. 5, n. 12, 2014.

CERQUEIRA, V.; HEMAIS, C. A. Estratégia Tecnológica e a Indústria Brasileira de Transformação de Polímeros. **Polímeros** [online], vol.11, n.3, p. 7-10, 2001.

CHAI, Jian et al. Demand forecast of petroleum product consumption in the Chinese transportation industry. **Energies**, v. 5, n. 3, p. 577-598, 2012.

CHICHAKLY, K.. **SMILE and XMILE: a common language and interchange format for system dynamics**. In: Proceedings of the 2007 International System Dynamics Conference, Boston, MA. System Dynamics Society: Albany, NY, 2007.

CORNELIUS, P. et al. Three Decades of Scenario Planning in Shell. **California Management Review**, v. 48, n. 1, p. 92-109, 2005.

CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edilson; DIAS FILHO, José Maria. **Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, 2012.

COUSINET, Sylvain et al. Toward replacement of styrene by bio-based methacrylates in unsaturated polyester resins. **European Polymer Journal**, v. 67, p. 539-550, 2015.

DELSHEM, Herbert L.; JIPPING, Michael J.. **Programming Languages: Structures and models** (em inglês). 2. ed. Boston: PWS Publishing Company, 1995.

DIKER, Vedat G.; ALLEN, Robert B. XMILE: towards an XML interchange language for system dynamics models. **System Dynamics Review**, v. 21, n. 4, p. 351-359, 2005.

DRACK, Manfred; WOLKENHAUER, Olaf. **System approaches of Weiss and Bertalanffy and their relevance for systems biology today**. In: Seminars in cancer biology. Academic Press, p. 150-155, 2011.

DRESCH, Aline; LACERDA, Pacheco Daniel ; ANTUNES Valle, Antonio José. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. Bookman. Porto Alegre. 2014.

EBERLEIN, R. L.; CHICHAKLY, K. J.. XMILE: a new standard for system dynamics. **System Dynamics Review**, v. 29, n. 3, p. 188-195, 2013.

EUROPEAN BIOPLASTICS. 2014. Disponível em: [http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2013/publications/EuBP\\_FactsFigures\\_bioplastics\\_2013.pdf](http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2013/publications/EuBP_FactsFigures_bioplastics_2013.pdf). Acesso em: 01 de set. de 2015.

FORRESTER, J. W. Industrial Dynamics. Portland, O R Productivity Press. A Response to Ansoff and Slevin. **Management Science**, 14:601-618, 1968.

FORRESTER, J. W. Counterintuitive behavior of social systems, **Technology Review**. 73(3), 52-68, 1971.

FORRESTER, Jay W. **System dynamics and learner-centered-learning in kindergarten through 12th grade education**. Text of remarks delivered December, v. 12, p. 1992, 1992.

FREITAS FILHO, Paulo José. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena**. Visual Books, 2008.

GEUM, Youngjung; LEE, Sora; PARK, Yongtae. Combining technology roadmap and system dynamics simulation to support scenario-planning: A case of car-sharing service. **Computers and Industrial Engineering**, v. 71, n. 1, p. 37-49, 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. Atlas, 2010.

GOLDKUHL, Göran; LIND, Mikael. **A multi-grounded design research process**. In: Global Perspectives on Design Science Research. Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 45-60.

GORR, Wilpen L. et al. Forecasting Exceptional Demand: Not the Same as Forecasting Ordinary Demand. **Foresight: The International Journal of Applied Forecasting**, n. 21, p. 16-22, 2011.

GREINER, Romy et al. Scenario modelling to support industry strategic planning and decision making. **Environmental Modelling & Software**, v. 55, p. 120-131, 2014.

GURUNATHAN, T. et al. A Review of the Recent Developments in Biocomposites Based on Natural Fibres and Their Application Perspectives. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, 2015.

HAIR, Joseph F. et al. **Análise multivariada de dados**. Bookman, 2009.

HEIJDEN, Kees. Scenarios and forecasting: two perspectives. **Technological forecasting and social change**, v. 65, n. 1, p. 31-36, 2000.

HEIJDEN, Kees et al. **The sixth sense: accelerating organizational learning with scenarios**. New York: John Wiley & Sons, 2002.

HEIJDEN, Kees. **Planejamento por cenários: a arte da conversação estratégica**. Bookman, 2009.

HEVNER, A. R et al. Design Science in information systems research. **MIS Quaterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HEVNER, Alan; CHATTERJEE, Samir. **Design research in information systems: theory and practice**. Springer, 2010.

HOPP, Wallace J.; SPEARMANN, Mark L.. **A ciência da fábrica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HSIAO, Chih-Tung; PENG, Hui-Ling; HUANG, Hui-Hua. The impact of sports ethics of professional baseball player to the development of sports industry in Taiwan. **Quality & Quantity**, v. 46, n. 6, p. 1753-1767, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria>. Acesso em: 15 nov. 2015.

JACOBS, F. Robert; CHASE, Richard B. **Administração de Operações e da Cadeia de Suprimentos**. 13. ed. McGraw Hill Brasil, 2012.

JANSEN, Leila Keiko Canegusuco. **Integração do Pensamento Sistêmico em projetos Seis Sigma**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009.

KAPMEIER, Florian; VOIGT, Alexander. **Pushing the Limits—Using System Dynamics to Forecast Short-Term Commodity Price Movements**. In: Proceedings of the 31st International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, Massachusetts. 2013.

LACERDA, Daniel Pacheco et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gest. Prod.** [online]. 2013, vol.20, n.4, p. 741-761. Epub Nov 26, 2013.

LAMPRIPOULOU, Chrysa et al. Application of an integrated systemic framework for analysing agricultural innovation systems and informing innovation policies: Comparing the Dutch and Scottish agrifood sectors. **Agricultural Systems**, v. 129, p. 40-54, 2014.

LYNEIS, James M. System dynamics for market forecasting and structural analysis. **System Dynamics Review**, v. 16, n. 1, p. 3-25, 2000.

MANSON, N. J. Is operations research really research? **ORiON: The Journal of ORSSA**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

MARCH, S. T.; SMITH, G. Design and Natural Science Research on Information Technology. **Decision Support Systems** (15:4), December 1995, p. 251-266.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. Atlas, 2010.

MARCONI, Marina Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia científica**. 6. ed. Atlas, 2011.

MARSH, George. Next step for automotive materials. **Materials Today**, v. 6, n. 4, p. 36-43, 2003.

MAXIQUIM, Assessoria de Mercado, 2013.

MAXIQUIM, Assessoria de Mercado, 2014.

MEIORIN, Cintia; MOSIEWICKI, Mirna A.; ARANGUREN, Mirta I. Ageing of thermosets based on tung oil/styrene/divinylbenzene. **Polymer Testing**, v. 32, n. 2, p. 249-255, 2013.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MIZZARO, S. Relevance The Whole History.pdf. **Journal of the American society for Information Science**, v. 48, n. 9, p. 810-832, 1997.

MORANDI, M. I. W. M. **Elaboração de um método para o entendimento da dinâmica da precificação de commodities através do pensamento sistêmico e de planejamento por cenários**: uma aplicação no mercado de minérios de ferro. 2008. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências Econômicas e Administrativas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2008.

MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta et al. Foreseeing iron ore prices using system thinking and scenario planning. **Systemic Practice and Action Research**, v. 27, n. 3, p. 287-306, 2014.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. **Revisão Sistemática da Literatura**. Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia. 1. ed, p.141-172. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MORECROFT, John DW. **Strategic Modelling and Business Dynamics+ Website: A feedback systems approach**. John Wiley & Sons, 2015.

MORSCHBACHER, LUCAS. **Desenvolvimento de um método tentativo para estimativa de volumes de exportação brasileira de carne de frango com o auxílio do pensamento sistêmico e do planejamento de cenários**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2009.

PATHAK, Swati; SNEHA, C. L. R.; MATHEW, Blessy Baby. Bioplastics: Its Timeline Based Scenario & Challenges. **Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry**, v. 2, n. 4, p. 84-90, 2014.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro SA. Negócios 2011–2015. 2013.

PHILP, Jim C. et al. Bioplastics science from a policy vantage point. **New biotechnology**, v. 30, n. 6, p. 635-646, 2013.

PHILP, Jim. OECD Policies for Bioplastics in the Context of a Bioeconomy. **Industrial Biotechnology**, v. 10, n. 1, p. 19-21, 2014.

PIDD, Michael. **Modelagem Empresarial: Ferramentas para tomada de decisão**. Bookmann: Porto Alegre/RS, 1998.

PIDD, M. **Tools for Thinking: Modelling in Management Science**. 2. ed. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd, 2003.

POCHMANN, M.. **O trabalho na crise econômica no Brasil: primeiros sinais**. estudos avançados, v. 23, n. 66, p. 41-52, 2009.

QI, Cheng; CHANG, Ni-Bin. System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 6, p. 1628-1641, 2011.

REDDY, R. Laxmana; REDDY, V. Sanjeevani; GUPTA, G. Anusha. Study of bioplastics as green and sustainable alternative to plastics. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v. 3, p. 82-89, 2013.

RICHMOND, B. **An introduction to systems thinking with iThink**. iSee Systems. 2004.

RUDIBERT JR, Kilian. **Cenarização: A ferramenta essencial para uma estratégia efetiva**. 2009. Tese de Doutorado. Centro de Filosofia e Ciências Sociais da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.brunomoraes.com.br/governanca-em-ti/wpcontent/uploads/2010/08/CENARIZA%20-%20TESE.pdf>. Acesso em: out. 2015.

RYAN, David Roland-Holst; SAM, Triolo; BAYRAM Heft-Neal Bijan. Produced Under Contract et al. **Bioplastics in California**. 2013.

SANNINO, Fabiano; HAMACHER, Silvio. **The dynamics in a large scale technology project**. MSc. Dissertation (Opção profissional). Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006. 108p.

SARGENT, R. G. **Verification and validation of Simulation Models**. In Proceeding of the Winter Simulation Conference, ed. By Seila, S. Manivannan, J. Tew, D. Sadowski, p. 77-87, ACM, NY, 1994.

SDEP (2014). **Road Maps**. Disponível em: <<http://web.mit.edu/sysdyn/road-maps/>> Acesso em: 25 de jul. de 2014.

SENGE, Peter M. Systems Thinking. **Executive Excellence**. 15-16, Jan 15, 1996.

SENGE, Peter M. et al. **A Quinta Disciplina**. Caderno de Campo. São Paulo, Qualitymark, 1997.

SENGE, Peter M et al. **Presence**. Human Purpose and the Field of the Future. Cambridge: The Society for Organizational Learning, 2004.

SENGE, Peter M. **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende**. Best Seller, 2009.

SENGE, Peter M. **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende**. Best Seller, 2011.

SIDRA, IBGE. Disponível em:< <http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: nov. 2015.

SLACK, N. et al. **Gerenciamento de operações e de processos: princípios e prática de impacto estratégico**. Alegre Bookman, 2008.

SLACK, N. et al. **Gerenciamento de operações e de processos: princípios e práticas de impacto estratégico**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SOROUDI, Azadeh; JAKUBOWICZ, Ignacy. Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review. **European Polymer Journal**, v. 49, n. 10, p. 2839-2858, 2013.

STERMAN, John D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

SUMMERSCALES, John et al. A review of bast fibres and their composites. Part 1–Fibres as reinforcements. Composites Part A: **Applied Science and Manufacturing**, v. 41, n. 10, p. 1329-1335, 2010.

SURYANI, Erma et al. Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 3, p. 2324-2339, 2010a.

SURYANI, Erma et al. Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 18, n. 6, p. 732-751, 2010b.

SCHWARTZ, Peter. **A arte da visão de longo prazo**. São Paulo: Nova Cultural, 2000.

TARIQ, Shahzad. **Success factors for the adoption of bio based packaging**. 2013.

THE SHELL SCENARIO TEAM. News lens scenarios. A shift in perspective for a world in transition. 2013. Disponível em: <[http://s02.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/Scenarios/Downloads/Scenarios\\_newdoc.pdf](http://s02.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/Scenarios/Downloads/Scenarios_newdoc.pdf)>. Acesso em: 13 de Abril de 2014.

TRAPP, Guilherme Sperling. **Avaliação do custo sistêmico total da geração de energia eólica frente à substituição das fontes hidrelétrica e termoeétrica considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo, 2015.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems**. 2009. Disponível em: <<http://desrist.org/desrist/content/design-science-research-in-information-systems.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

VOM BROCKE, Jan; LIPPE, Sonia. **Taking a project management perspective on design science research**. In: Global Perspectives on Design Science Research. Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 31-44.

ZAHRADNÍČKOVÁ, Lenka; VACÍK, Emil. Scenarios as a Strong Support for Strategic Planning. **Procedia Engineering**, v. 69, p. 665-669, 2014.

YOUNG, Robert J.; LOVELL, Peter A. **Introduction to polymers**. CRC press, 2011.

## APÊNDICE I: PROTOCOLO ESTRATÉGIA DE BUSCA

<b>Protocolo Estratégia de Busca</b>			
<b>Framework Conceitual:</b> Em um mercado amplo e dinâmico, as empresas precisam de modelos de previsão dinâmicos. Incluindo fatores que influenciam as mudanças na demanda e permitem aos tomadores de decisão explorarem o impacto de diferentes cenários estratégicos de longo prazo.			
Contexto:	A pesquisa foca no processo de visualização da demanda, com uso do método do pensamento sistêmico e planejamento de cenários. Utilizando a modelagem em dinâmica de sistemas		
Horizonte:	Não será utilizada delimitação, sendo utilizado todo o período disponível nas bases de busca.		
Correntes Teóricas:	Visualização de demanda Dinâmica de sistemas Pensamento Sistêmico Cenários		
Idiomas:	Não será limitado na busca, mas os termos de busca serão em Inglês e Português. Caso sejam encontrados artigos em outros idiomas, estes serão traduzidos caso o abstract se mostre promissor.		
<b>Questão de Revisão:</b> Como as empresas realizam as previsões de demanda no âmbito estratégico de longo prazo e quais são as técnicas empregadas para a definição mais apropriada para cada cenário?			
<b>Estratégia de Revisão</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Agregativa		<input type="checkbox"/> ConFigurativa
<b>Crítérios de Busca</b>	Crítérios de Inclusão		Crítérios de Exclusão
	Previsão de demanda / Visualização de demanda Cenaries / Cenários Dynamic Systems / Dinâmica de sistemas Previsão / Forecasting		<i>Weather forecast</i> <i>Pollution rates</i> <i>Tourism</i>
<b>Termos de Busca:</b>			
"SYSTEMS DYNAMICS" <b>AND</b> FORECASTING		/ "DINÂMICA DE SISTEMAS" <b>AND</b> PREVISÃO	
"DYNAMIC SYSTEMS" <b>AND</b> PREDICTION		/ "DINÂMICA DE SISTEMAS" <b>AND</b> PREVISÃO	
"DYNAMIC SYSTEMS" <b>AND</b> "DEMAND VISUALIZATION"		/ "DINÂMICA DE SISTEMAS" <b>AND</b> "VISUALIZAÇÃO DE DEMANDA"	
"SYSTEMS THINKING" <b>AND</b> FORECASTING		/ "PENSAMENTO SISTÊMICO" <b>AND</b> PREVISÃO	
FORECASTING <b>AND</b> STYRENE		/ PREVISÃO <b>AND</b> ESTIRENO	
FORECASTING <b>AND</b> PETROCHEMICAL		/ PREVISÃO <b>AND</b> PETROQUÍMICOS	
TECHNICAL FORECAST		/ TÉCNICAS DE PREVISÃO	
"PLANNING SCENARIOS" <b>AND</b> "DYNAMIC SYSTEMS"		/ "PLANEJAMENTO DE CENÁRIOS" <b>AND</b> "DINÂMICA DE SISTEMAS"	
<b>Fontes de Busca:</b>			
Bases de Dados: ( ) Periódicos Capes ( X ) EBSCO ( X ) Web of Science™ ( ) Scopus   Elsevier ( ) Scielo  ( ) ProQuest  ( ) Emerald	Anais: ( ) ENEGEP	Internet: ( ) Google Acadêmico	Outras: ( )

## APÊNDICE II: ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS

Questões:

- 1) Na sua opinião, quais são os principais fatores que limitam e/ou impulsionam a demanda de Estireno?
- 2) Quais os principais elementos adotados para a decisão de ampliação de oferta?
- 3) Quais as relações para o estabelecimento do preço?
- 4) Pela sua experiência, quais fatores socioculturais impulsionam o consumo de Estireno?
- 5) Na sua experiência, quais fatores econômicos impulsionam e/ou limitam o consumo de Estireno?
- 6) Você identifica a existência de sazonalidade significativa na demanda de Estireno? Qual período? Qual derivado de Estireno?
- 7) Na sua opinião, quais seriam os sinalizadores da elevação e/ou redução na demanda de Estireno?
- 8) Quais seriam, na sua opinião, as incertezas críticas sobre os cenários da demanda futura de Estireno?
- 9) Na sua opinião, o Estireno pode ser substituído por outro insumo a curto, médio ou longo prazo?
- 10) A demanda futura pode ser alterada por inovações tecnológicas?
- 11) Sugestões (gerais sobre a pesquisa).

### APÊNDICE III: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ESTATÍSTICOS DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO

Nesta seção deste apêndice são apresentados os resultados das análises estatísticas que auxiliaram a construção das equações de regressão. Para cada variável dependente são apresentados:

- O sumário do modelo, onde pode ser observado o coeficiente de determinação –  $R^2$  – e o coeficiente de determinação ajustado;
- O teste de significância do modelo – ANOVA;
- A tabela de coeficientes dos valores dos coeficientes a fim de possibilitar a replicabilidade do modelo. Também são apresentados, o teste de significância e a análise de multicolinearidade.

#### 1. Demanda de SBR

**Model Summary**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,907 <sup>a</sup>	,823	,806	2,69276

a. Predictors: (Constant), Veiculos

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	338,032	1	338,032	46,619	,000 <sup>b</sup>
	Residual	72,510	10	7,251		
	Total	410,542	11			

a. Dependent Variable: SM\_SBR\_BNDS

b. Predictors: (Constant), Veiculos

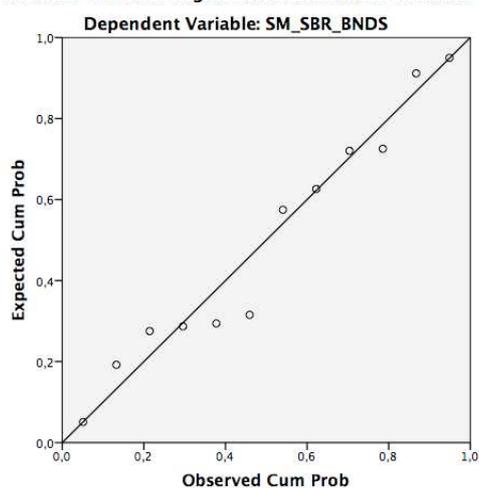
O modelo de regressão mostra-se significativo e possui coeficiente de determinação, maior do que 0,8, mesmo quando ajustado.

Coefficients<sup>a</sup>

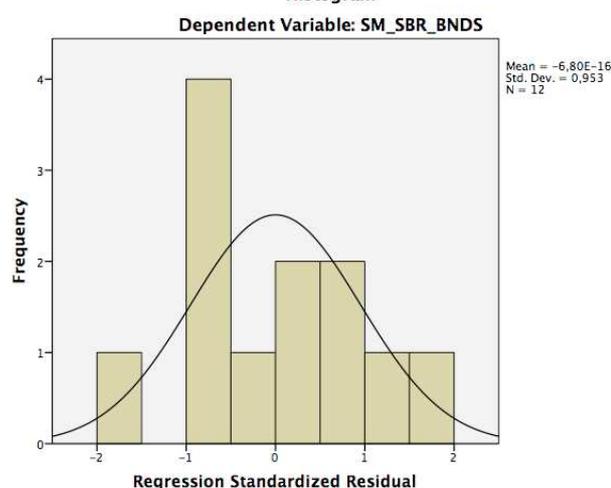
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	29,929	3,265		9,166	,000
	Veiculos	7,860E-6	,000	,907	6,828	,000

a. Dependent Variable: SM\_SBR\_BNDS

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Histogram



A distribuição dos resíduos não apresenta sintomas de que o pressuposto da homocedasticidade tenha sido violado.

## 2. Demanda de EPS

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,976 <sup>a</sup>	,953	,948	4,70777

a. Predictors: (Constant), Venda\_de\_moveis\_eletros

b. Dependent Variable: EPS\_Real

O modelo de regressão mostra-se significativo e possui elevado coeficiente de determinação, maior do que 0,8 mesmo quando ajustado.

ANOVA<sup>a</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4451,060	1	4451,060	200,832	,000 <sup>b</sup>
	Residual	221,631	10	22,163		
	Total	4672,690	11			

a. Dependent Variable: EPS\_Real

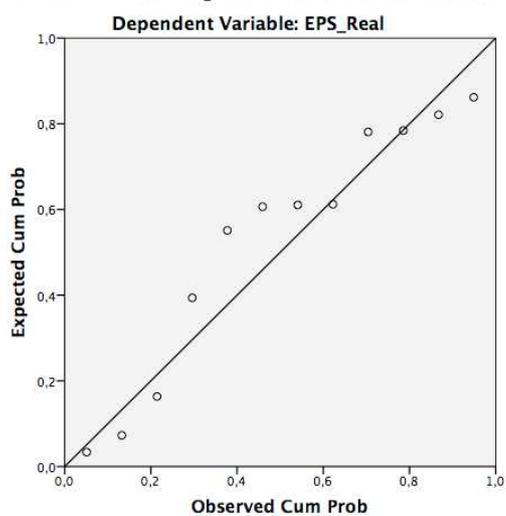
b. Predictors: (Constant), Venda\_de\_movéis\_eletros

Coefficients<sup>a</sup>

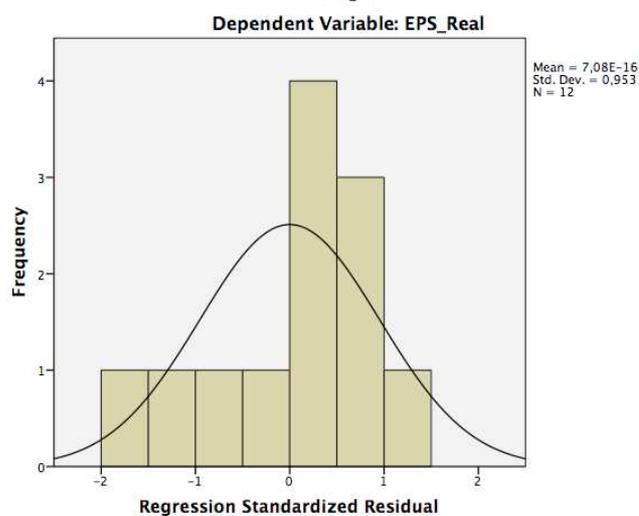
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	21,801	3,536		6,165	,000
	Venda_de_movéis_eletros	,673	,048	,976	14,172	,000

a. Dependent Variable: EPS\_Real

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Histogram



## APÊNDICE IV: RESULTADO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

### Cenário 1

Ano	Consumo de SM kTon ao ano	Importação de SM kTon ao ano	Substitutos de estireno kTon ao ano
2002	477,13	0,00	0,000
2003	490,35	0,00	0,000
2004	543,03	28,93	0,000
2005	518,90	4,80	0,000
2006	547,48	33,38	0,000
2007	591,10	77,00	0,000
2008	575,47	61,37	0,000
2009	582,45	68,35	0,000
2010	642,25	128,15	0,000
2011	640,15	126,05	0,000
2012	638,60	124,50	0,000
2013	661,82	147,72	0,000
2014	664,06	149,96	0,050
2015	664,01	149,91	0,116
2016	663,96	149,86	0,183
2017	663,91	149,81	0,249
2018	663,86	149,76	0,315
2019	663,81	149,71	0,382
2020	663,77	149,67	0,448
2021	663,72	149,62	0,515
2022	663,67	149,57	0,581
2023	663,62	149,52	0,647
2024	663,57	149,47	0,714
2025	663,52	149,42	0,780
2026	663,47	149,37	0,846
2027	663,43	149,33	0,913
2028	663,38	149,28	0,979
2029	663,33	149,23	1,046
2030	663,28	149,18	1,112
2031	663,23	149,13	1,178
2032	663,18	149,08	1,245
2033	663,13	149,03	1,311

## Cenário 2

Ano	Consumo de SM kTon ao ano	Importação de SM kTon ao ano	Substitutos de estireno kTon ao ano
2002	477,13	0,00	0,000
2003	490,35	0,00	0,000
2004	543,03	28,93	0,000
2005	518,90	4,80	0,000
2006	547,48	33,38	0,000
2007	591,10	77,00	0,000
2008	575,47	61,37	0,000
2009	582,45	68,35	0,000
2010	642,25	128,15	0,000
2011	640,15	126,05	0,000
2012	638,60	124,50	0,000
2013	661,82	147,72	0,000
2014	672,93	158,83	0,050
2015	682,04	167,94	0,119
2016	691,44	177,34	0,190
2017	701,16	187,06	0,263
2018	711,19	197,09	0,338
2019	721,57	207,47	0,415
2020	732,29	218,19	0,494
2021	743,38	229,28	0,576
2022	754,86	240,76	0,661
2023	766,73	252,63	0,748
2024	779,02	264,92	0,838
2025	791,75	277,65	0,931
2026	804,93	290,83	1,027
2027	818,59	304,49	1,126
2028	832,74	318,64	1,229
2029	847,41	333,31	1,336
2030	862,63	348,53	1,446
2031	878,41	364,31	1,560
2032	894,79	380,69	1,679
2033	911,78	397,68	1,802

## Cenário 3

Ano	Consumo de SM kTon ao ano	Importação de SM kTon ao ano	Substitutos de estireno kTon ao ano
2002	477,13	0,00	0,000
2003	490,35	0,00	0,000
2004	543,03	28,93	0,000
2005	518,90	4,80	0,000
2006	547,48	33,38	0,000
2007	591,10	77,00	0,000
2008	575,47	61,37	0,000
2009	582,45	68,35	0,000
2010	642,25	128,15	0,000
2011	640,15	126,05	0,000
2012	638,60	124,50	0,000
2013	661,82	147,72	0,000
2014	656,73	142,63	7,374
2015	647,04	132,94	17,080
2016	637,50	123,40	26,643
2017	628,10	114,00	36,065
2018	618,83	104,73	45,349
2019	609,70	95,60	54,496
2020	600,71	86,61	63,508
2021	591,84	77,74	72,387
2022	583,11	69,01	81,136
2023	574,51	60,41	89,756
2024	566,04	51,94	98,248
2025	557,69	43,59	106,616
2026	549,46	35,36	114,861
2027	541,35	27,25	122,985
2028	533,37	19,27	130,988
2029	525,50	11,40	138,874
2030	517,75	3,65	146,644
2031	510,11	0,00	154,300
2032	502,58	0,00	161,843
2033	495,17	0,00	169,275

## Cenário 4

Ano	Consumo de SM kTon ao ano	Importação de SM kTon ao ano	Substitutos de estireno kTon ao ano
2002	477,13	0,00	0,000
2003	490,35	0,00	0,000
2004	543,03	28,93	0,000
2005	518,90	4,80	0,000
2006	547,48	33,38	0,000
2007	591,10	77,00	0,000
2008	575,47	61,37	0,000
2009	582,45	68,35	0,000
2010	642,25	128,15	0,000
2011	640,15	126,05	0,000
2012	638,60	124,50	0,000
2013	661,82	147,72	0,000
2014	665,51	151,41	7,473
2015	664,61	150,51	17,544
2016	663,89	149,79	27,746
2017	663,33	149,23	38,089
2018	662,95	148,85	48,582
2019	662,74	148,64	59,237
2020	662,72	148,62	70,064
2021	662,88	148,78	81,075
2022	663,23	149,13	92,284
2023	663,78	149,68	103,701
2024	664,52	150,42	115,342
2025	665,46	151,36	127,220
2026	666,61	152,51	139,350
2027	667,96	153,86	151,748
2028	669,54	155,44	164,430
2029	671,33	157,23	177,414
2030	673,36	159,26	190,718
2031	675,61	161,51	204,361
2032	678,10	164,00	218,363
2033	680,84	166,74	232,745

## APÊNDICE V – MODELO EM XML

### Código

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<xmile version="1.0" level="3"
xmlns="http://www.systemdynamics.org/XMILE"
xmlns:isee="http://iseesystems.com/XMILE">
  <header>
    <smile version="1.0" namespace="std, isee" />
    <name>Modelo_Final_Verificacao</name>
    <uuid>4445cef2-9b8d-41bc-9247-e5c0f7ce1e82</uuid>
    <vendor>isee systems, inc.</vendor>
    <product version="10.0.3" lang="en">iThink</product>
  </header>
  <style>
    <model font-family="Arial" font-size="9" />
    <interface font-family="Arial" font-size="9" />
  </style>
  <sim_specs method="Euler" time_units="Years">
    <start>2002</start>
    <stop>2013</stop>
    <dt>0.25</dt>
  </sim_specs>
  <model_units />
  <data>
    <export type="Excel" interval="1" url="Z:\marcosleandrohoffmannsouza
On My
Mac\Dropbox\Mestrado\Dissertação\Dissertação\MDS\Analises_Ithink\Dados
de Imput.xls" worksheet="Dados_Saída_Validação">
      <all />
    </export>
    <import type="Excel" url="Z:\marcosleandrohoffmannsouza On My
Mac\Dropbox\Mestrado\Dissertação\Dissertação\MDS\Analises_Ithink\Dados
de Imput.xls" worksheet="Input_Dados_Validação" />
  </data>
  <isee:prefs layer="model" grid_width="20" grid_height="50"
divide_by_zero_alert="true" hide_taskbar="true" show_module_prefix="true">
    <isee:window width="1264" height="701" />
    <isee:security />
    <isee:print_setup width="561" height="818" />
  </isee:prefs>
  <isee:equation_prefs order_by="module" />
  <model>
    <flow name="Demanda_PS">
      <eqn>61.220+2.127*Linha_branca</eqn>
      <non_negative />
      <display x="234" y="217" color="blue" label_side="top"
label_angle="85">
        <pts>

```

```

        <pt x="185" y="217" />
        <pt x="283" y="217" />
    </pts>
</display>
</flow>
<flow name="Demanda_EPS">
    <eqn>21.801+0.673*Vend_moveis_elet</eqn>
    <non_negative />
    <display x="241" y="285" color="blue" label_side="top"
label_angle="85">
        <pts>
            <pt x="203" y="285" />
            <pt x="279" y="285" />
        </pts>
    </display>
</flow>
<flow name="Linha_branca">
    <eqn>TIME</eqn>
    <non_negative />
    <gf>
        <xscale min="2002" max="2013" />
        <yscale min="0" max="100" />

<ypts>100.00083333333301,101.021666666667,119.8725,118.36333333333
3,130.175833333333,137.09,131.134166666667,130.542499999999,147.4
6250000000001,147.9550000000001,150.45416666666699,156.548333333
33301</ypts>
    </gf>
    <display x="85" y="215" color="blue" label_side="top"
label_angle="85">
        <pts>
            <pt x="41" y="215" />
            <pt x="130" y="215" />
        </pts>
    </display>
</flow>
<flow name="Estieno_modelo">

<eqn>120.183+0.955*PS_and_EPS_and_SBR+2.606*Construcao_civil</eqn
>
    <non_negative />
    <display x="495" y="212" color="blue" label_side="top"
label_angle="97">
        <pts>
            <pt x="454" y="212" />
            <pt x="537" y="212" />
        </pts>
    </display>
</flow>
<flow name="Estireno_Real">

```

```

<eqn>TIME</eqn>
<non_negative />
<gf>
  <xscale min="2002" max="2013" />
  <yscale min="0" max="100" />

<ypts>487.99000000000001,474.096,538.37400000000002,529.3596,551.88
969599999996,598.22228500000006,561.1350999999997,580.6907999999
9997,659.1748999999998,633.180159,641.11700199999996,653.13070000
000005</ypts>
</gf>
<display x="526" y="270" color="blue">
  <pts>
    <pt x="489" y="270" />
    <pt x="563" y="270" />
  </pts>
</display>
</flow>
<flow name="Veiculos">
  <eqn>TIME</eqn>
  <non_negative />
  <gf>
    <xscale min="2002" max="2013" />
    <yscale min="0" max="100" />

<ypts>1633790,1684715,2124177,2357172,2403680,2825276,3050631,3076
000,3382143,3417782,3402963,3712736</ypts>
</gf>
<display x="83" y="338" color="blue" label_side="top"
label_angle="95">
  <pts>
    <pt x="42" y="338" />
    <pt x="124" y="338" />
  </pts>
</display>
</flow>
<flow name="PS_and_EPS_and_SBR">
  <eqn>Demanda_PS+Demanda_EPS+SBR</eqn>
  <non_negative />
  <display x="384" y="267" color="blue" label_side="top"
label_angle="92">
    <pts>
      <pt x="339" y="267" />
      <pt x="429" y="267" />
    </pts>
  </display>
</flow>
<flow name="Construcao_civil">
  <eqn>TIME</eqn>
  <non_negative />

```

```

<gf>
  <xscale min="2002" max="2013" />
  <yscale min="0" max="100" />

<ypts>4.7000000000000002,8.9000000000000004,11,2.2000000000000002,
1,9.0999999999999996,4.7999999999999998,7.5,13.1,8.3000000000000007,
2.7999999999999998,4.7000000000000002</ypts>
  </gf>
  <display x="88" y="149" color="blue" label_side="top"
label_angle="85">
    <pts>
      <pt x="40" y="149" />
      <pt x="137" y="149" />
    </pts>
  </display>
</flow>
<flow name="SBR">
  <eqn>29.929+7.860E-6*Veiculos</eqn>
  <non_negative />
  <display x="243" y="344" color="blue" label_side="top"
label_angle="85">
    <pts>
      <pt x="199" y="344" />
      <pt x="287" y="344" />
    </pts>
  </display>
</flow>
<flow name="Vend_moveis_elet">
  <eqn>TIME</eqn>
  <non_negative />
  <gf>
    <xscale min="2002" max="2013" />
    <yscale min="0" max="100" />

<ypts>33.358333330000001,33.075000000000003,41.808333330000004,42,
53.458333330000002,61.708333330000002,71.016666670000006,72.5,85.78
3333330000005,100,112.16666669999999,117.7166667</ypts>
  </gf>
  <display x="82" y="279" color="blue" label_side="top"
label_angle="88">
    <pts>
      <pt x="46" y="279" />
      <pt x="119" y="279" />
    </pts>
  </display>
</flow>
  <display page_width="561" page_height="818" page_cols="4"
page_rows="4" isee:show_values_on_hover="true"
isee:converter_size="medium" isee:animate_flows="true"

```

```

isee:animate_stocks="true" isee:animate_converters="true"
report_balances="ending" report_flows="summed">
  <connector x="393" y="265" uid="0" color="#FF007F">
    <from>PS_and_EPS_and_SBR</from>
    <to>Estieno_modelo</to>
  </connector>
  <connector x="97" y="150" uid="1" color="#FF007F">
    <from>Construcao_civil</from>
    <to>Estieno_modelo</to>
  </connector>
  <connector x="93" y="210" uid="2" color="#FF007F">
    <from>Linha_branca</from>
    <to>Demanda_PS</to>
  </connector>
  <connector x="89" y="284" uid="3" color="#FF007F">
    <from>Vend_moveis_elet</from>
    <to>Demanda_EPS</to>
  </connector>
  <connector x="89" y="344" uid="4" color="#FF007F">
    <from>Veiculos</from>
    <to>SBR</to>
  </connector>
  <connector x="251" y="340" uid="5" color="#FF007F">
    <from>SBR</from>
    <to>PS_and_EPS_and_SBR</to>
  </connector>
  <connector x="242" y="220" uid="6" color="#FF007F">
    <from>Demanda_PS</from>
    <to>PS_and_EPS_and_SBR</to>
  </connector>
  <connector x="249" y="289" uid="7" color="#FF007F">
    <from>Demanda_EPS</from>
    <to>PS_and_EPS_and_SBR</to>
  </connector>
  <stacked_container x="639" y="57" height="282" width="492"
visible_index="0" uid="8">
    <graph type="time_series" title="Untitled" background="#FFFFFFC9"
show_grid="false" numbers_on_plots="true" isee:use_five_segments="false"
isee:date_time="-766689860" time_precision="0" from="2002" to="2013">
      <plot index="0" pen_width="1" color="blue" precision="0"
show_y_axis="true">
        <entity name="Estieno_modelo" />
      </plot>
      <plot index="1" pen_width="1" color="red" precision="0"
show_y_axis="true">
        <entity name="Estireno_Real" />
      </plot>
    </graph>
  </stacked_container>

```

```
        <pad_icon x="836" y="214" width="26" height="22" color="#008F44"
label_side="bottom" label="Graph 1" type="graph" icon_of="8" />
        <button x="647" y="109" width="65" height="34" uid="9"
appearance="opaque" background="black" color="white" style="square"
label="Run" font-family="Arial" font-size="12" text-align="center">
            <menu_action>run</menu_action>
        </button>
    </display>
    <interface page_cols="3" page_rows="3" page_width="788"
page_height="528">
        <simulation_delay>0.1</simulation_delay>
        <pages />
    </interface>
</model>
</xmile>
```

## ANEXO I

**Assunto:** RE: Res: RE: Res: RE: Support materials Xmile

**De:** Karim Chichakly via LinkedIn (member@linkedin.com)

**Para:** marcosl.hoffmann@yahoo.com.br;

**Data:** Terça-feira, 9 de Setembro de 2014 17:59

**Karim Chichakly**

Management Consulting, Policy Analysis, and Systems Thinking Training

-----

Boa tarde Marcos,

Obrigado pelo seu seu interesse em XMILE e obrigado por escrever. The current XMILE draft standard is available here:

[https://www.oasis-open.org/committees/document.php?document\\_id=53613&wg\\_abbrev=xmile](https://www.oasis-open.org/committees/document.php?document_id=53613&wg_abbrev=xmile)

Note you cannot just click the link, you must right-click and choose "Save As..." There are also support materials including sample models and an XSD available here:

[https://www.oasis-open.org/committees/document.php?document\\_id=53614&wg\\_abbrev=xmile](https://www.oasis-open.org/committees/document.php?document_id=53614&wg_abbrev=xmile)

As for running XMILE models, you need a software package that supports XMILE models. Existing packages today include iThink, STELLA, InsightMaker, and a nascent open source project here (<https://github.com/bpowers/sd.js>).

Others are planning to implement the standard as well, e.g., SDM-Doc, Vensim, and Anylogic.

Imprimir <https://br-mg4.mail.yahoo.com/neo/launch?.rand=9cuq9ebdq...>

2 de 3 22/10/15 11:08

**Responder a Karim**

Abs.,

Karim

On 08/11/14 3:18 PM, Marcos Hoffmann wrote:

-----

Hello Mr Karim,

I am a graduate student in engineering in Brazil and I'm using the system dynamics in my research. I was very interested in your material XMILE. I would like if you have some more information to help me in my work. I.e. How to run the models made in XML. Thank you very much.

Você está recebendo e-mails sobre notificações de mensagens de usuários. [Cancelar inscrição](#)

Este e-mail foi enviado para Marcos Hoffmann (Engenheiro de Produção). [Saiba por que incluímos isto.](#)

©2014 LinkedIn Ireland, Gardner House, Wilton Plaza, Wilton Place, Dublin 2, Irlanda

Imprimir <https://br-mg4.mail.yahoo.com/neo/launch?.rand=9cuq9ebdq...>

3 de 3 22/10/15 11:08