



ANÁLISE DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE SIMBIOSE
INDUSTRIAL: PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO A PARTIR DO COMPLEXO
PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO (COMPERJ)

Roberta Guarany Oberlaender

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientadora: Alessandra Magrini

Rio de Janeiro
Março de 2016

ANÁLISE DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE SIMBIOSE
INDUSTRIAL: PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO A PARTIR DO COMPLEXO
PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO (COMPERJ)

Roberta Guarany Oberlaender

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. Alessandra Magrini, D.Sc.

Prof. Marco Aurélio Vasconcelos de Freitas, D.Sc.

Prof. Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2016

Oberlaender, Roberta Guarany

Análise de Desenvolvimento de Sistemas de Simbiose Industrial: Proposta de Implementação a Partir do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ)/ Roberta Guarany Oberlaender – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XII, 131 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Alessandra Magrini

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 119 - 131.

1. Ecologia Industrial. 2. Simbiose Industrial. 3. Parques Industriais Ecológicos. 4. COMPERJ. I. Magrini, Alessandra. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Agradecimentos,

A Deus e a minha mãezinha Nossa Senhora das Graças, pois só Eles sabem o que passamos e conquistamos juntos.

Aos meus pais, Carmen Lucia Oberlaender e Roberto Formiga Oberlaender (*in memorian*), pelo amor incondicional, por toda dedicação, educação e confiança que depositaram em mim. Espero sempre orgulhar vocês!

Mãe, sem você eu não estaria completando mais esta etapa da vida. Não tenho como expressar em palavras todo meu amor, agradecimento e admiração por você. Você é linda!

Pai, espero um dia ser especial para meus filhos assim como você foi e sempre será para mim. Você me dá forças mesmo de longe, é meu exemplo de caráter, de pai, de amigo, de companheiro. Você me faz muita falta, mesmo estando sempre presente no meu coração.

A minha irmã, Bárbara Melecchi, pelo apoio, companheirismo, cuidado e amor que sempre me ofereceu tão intensamente. E por ter colocado na minha vida um irmão super especial, Marcelo Melecchi, que me confortou tantas vezes só com o olhar. E a afilhada mais linda desse mundo, que me encanta e me faz querer ser melhor todos os dias.

A minha orientadora, Alessandra Magrini, pelos direcionamentos e pela paciência com minhas dificuldades.

Aos professores Marco Aurélio Freitas e Elen Pacheco por terem gentilmente aceito o convite para integrarem a Banca de Defesa.

Elen, suas contribuições foram além de enriquecedores, mas essenciais para conclusão do meu trabalho.

Ao Programa de Planejamento Energético e aos seus funcionários, Paulo, Simone, Queila, Fernando, e especialmente Sandrinha pela atenção, apoio e amizade oferecidos prontamente e com sorriso largo.

Ao meu namorado, Renan dos Santos Neto, que tornou a fase da escrita da dissertação muito menos desgastante com sua alegria, cuidado e palavras de conforto. Obrigada pelo apoio e por dividir a vida comigo de forma tão leve e cheia de amor.

De todo coração, às minhas melhores amigas e melhores professoras, Caroline Ponce e Taíse Lyra. Sem vocês eu não estaria aqui! Obrigada por separarem um tempo precioso pra me ensinar Estatística e Cálculo, tarefa árdua, reconheço. Mas muito bem sucedida, não?

Aos os meus amigos, Marcela, Rodrigo e Bruna Capanema, Rafael Serra, Clarissa Fernanda Correa, Josie Antonucci, Lorena Pinheiro por todas as alegrias e dificuldades em que pude contar com cada um de vocês até hoje. Espero que seja assim até ficarmos bem velhinhos e caducos.

A todos os colegas de PPE, em especial: Lívia Cartolano, Gustavo Lessa, Nicole Munk, Bruno Cunha, Mariana Império, Lilia Caiado, Ana Luiza Andrade, Mariana Weiss, André Viola, Guilherme Lima, Leandro Souza.

A minha amiga Lívia Cartolano, sem a qual eu não teria passado nem na seleção do mestrado. Obrigada por todo incentivo, por acreditar no meu potencial, por dividir os desesperos de provas e trabalhos, por me acalmar mesmo estando tão aflita quanto eu. Você é iluminada!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE SIMBIOSE
INDUSTRIAL: PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO A PARTIR DO COMPLEXO
PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO (COMPERJ)

Roberta Guarany Oberlaender

Março/2016

Orientadora: Alessandra Magrini

Programa: Planejamento Energético

Este estudo analisou a potencialidade de grandes empreendimentos, como o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – COMPERJ, na aplicação dos conceitos de Ecologia Industrial (EI). A partir de suas ferramentas – Simbiose Industrial (SI) e Parques Industriais Ecológicos (PIEs), da análise dos fluxos de materiais previstos para o COMPERJ, e da classificação de PIEs proposta na literatura, foram estabelecidos fluxos sinérgicos, chamados de cenários, tendo o Complexo como empreendimento âncora. Foram elaborados três cenários de desenvolvimento de sistemas de SI, a partir de uma metodologia de matrizes, capazes de relacionar os resíduos gerados pela âncora e seus possíveis receptores, na forma de insumos. A partir dos cenários, foi constatada a real possibilidade de estabelecimento dos sistemas de SI a partir do COMPERJ. Além disso, comprovou-se que, conforme aumenta a abrangência da Área de Influência do sistema, maiores as possibilidades de surgimento de novos intercâmbios e a variedade de tipologias industriais envolvidas na Simbiose. Espera-se que os conceitos da EI sejam considerados com maior frequência em propostas governamentais e ações empresariais, principalmente quando relacionados a empreendimentos de grande porte.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DEVELOPMENT ANALYSYS OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS SYSTEMS:
PROPOSAL FOR IMPLEMENTATION FROM PETROCHEMICAL COMPLEX OF
RIO DE JANEIRO (COMPERJ)

Roberta Guarany Oberlaender

March/2016

Advisor: Alessandra Magrini

Departament: Energy Planning

This study analyzed the potential of large enterprises, such as the Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro - COMPERJ, in applying the concepts of Industrial Ecology From their tools - Industrial Symbiosis (IS) and Ecological Industrial Parks (EIPs), analysis of material flows provided for COMPERJ, and EIPs classification proposed in the literature, synergistic flows were established, called scenarios, having the Complex as an anchor project. It was drawn up three scenarios of development of IS systems, from a matrices methodology able to link the waste generated by the anchor and its possible receptors in the form of inputs. From the scenarios, it was found the real possibility of establishment of IS systems from COMPERJ. Furthermore, it was proven that, as increases the scope of the system's Influence Area, the greater the emergence of new possibilities for exchanges and variety of industry types involved in Symbiosis. It is expected that the concepts of Industrial Ecology could be considered more frequently in government proposals and business actions, particularly when related to large projects.

Sumário

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização e Justificativa do Tema.....	1
1.1.1. Objetivo.....	3
1.2. Metodologia do Trabalho	3
1.3. Estrutura da Dissertação	6
Capítulo 2 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1. O Conceito de Ecologia Industrial e suas Ferramentas	10
2.1.1. Simbiose Industrial	15
2.1.2. Parques Industriais Ecológicos	16
2.1.3. A Implantação de Sistemas de Simbiose Industrial e de Parques Industriais Ecológicos	20
2.1.3.1. Formação de Sistemas de Simbiose Industrial e de Parques Industriais Ecológicos.....	21
2.1.3.2. Formação de Parques Industriais Ecológicos e Gestão Compartilhada.....	24
2.1.3.3. Barreiras ao Desenvolvimento de Simbioses Industriais e Parques Industriais Ecológicos.....	28
2.2. Algumas Experiências de Simbioses Industriais e Parques Industriais Ecológicos	29
2.2.1. Experiências Internacionais	29
2.2.1.1. A Simbiose Industrial de Kalundborg.....	31
2.2.1.2. O Parque Industrial Ecológico Triangle J. / Carolina do Norte - EUA.....	35
2.2.2. A Experiência da Região Metropolitana do Rio de Janeiro	36
Capítulo 3 – ESTUDO DE CASO	39
3.1. A Indústria do Petróleo Brasileira e o Estado do Rio de Janeiro.....	39
3.2. Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro - COMPERJ	42
3.2.1. Configuração Original do COMPERJ e suas modificações	45
3.2.2. Situação Atual do Empreendimento	47
3.2.3. Caracterização do Município de Itaboraí	49
3.2.3.1. Breve Histórico.....	49
3.2.3.2. Características Geográficas e Socioeconômicas.....	52

3.2.4.	Área Estratégica do Empreendimento e Infraestrutura Externa Associada	55
3.3.	Metodologia para o Desenvolvimento das Simbioses.....	611
Capítulo 4 – RESULTADOS		62
4.1.	Cenário I: Empreendimento Âncora	63
4.1.1.	Refino do Petróleo e a Produção de Petroquímicos	63
4.1.1.1.	Produtos Gerados no Processo Produtivo.....	63
4.1.1.2.	Resíduos Gerados no Processo Produtivo.....	70
4.1.1.2.1.	Geração de Efluentes.....	72
4.1.1.2.2.	Geração de Resíduos Sólidos.....	76
4.1.2.	Matriz Base Gerador/Receptor	82
4.1.3.	Simbiose Industrial a Partir da Matriz Base Gerador/Receptor.....	86
4.2.	Cenário II: Identificação de Possíveis Sinergias Regionais	87
4.2.1.	Delimitação da Área de Influência do Município de Itaboraí	87
4.2.2.	Matriz Região Gerador/Receptor	88
4.2.2.1.	Possíveis Sinergias Estabelecidas no Município de Itaboraí.....	88
4.2.3.	Sugestões para Estabelecimento de uma Simbiose Industrial a Partir da Matriz Região Gerador/Receptor	999
4.3.	Cenário III: Identificação de Possíveis Sinergias Inter-Regionais	10303
4.3.1.	Delimitação da Área de Influência Inter-regional	1033
4.3.2.	Matriz Inter-região Gerador/Receptor	10505
4.3.2.1.	Possíveis Sinergias Estabelecidas na Inter-região.....	105
4.3.3.	Sugestões para Estabelecimento de uma Simbiose Industrial a partir da Matriz Inter-região Gerador/Receptor.....	111
4.4.	Atração de Novos Parceiros.....	1132
Capítulo 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....		115
Referências Bibliográficas		1199

Índice de Figuras

Figura 1 - Ótica tradicional X Ótica da Ecologia Industrial. Adaptado de Chertow, 2002 <i>apud</i> Veiga, 2007.	12
Figura 2 - Níveis de Abrangência da Ecologia Industrial e suas ferramentas. Fonte: Chertow, 2000 <i>apud</i> Veiga, 2007.	15
Figura 3 – Representação da simbiose envolvendo pelo menos 3 diferentes empresas e no mínimo 2 diferentes subprodutos. Fonte: Adaptado de Chertow (2007).	21
Figura 4 - Esquema mostrando as simbioses presentes atualmente no PEI de Kalundborg. Fonte: Elaboração Própria.	34
Figura 5 - Mapa de distribuição espacial das indústrias pela cidade de Kalundborg. Fonte: Site oficial do PIE: http://www.symbiosis.dk/	35
Figura 6 - Refinarias, unidades de fabricação de fertilizantes nitrogenados e unidade de industrialização do xisto presentes no Brasil. Fonte: Greco & Romão (2012).....	41
Figura 7 - Localização geográfica do município de Itaboraí e de seus municípios vizinhos. Fonte: Concremat, 2007 (2).....	44
Figura 8 - Unidades produtivas do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, sua geração de produtos e respectivas quantidades. Legenda: kbpd é a unidade em inglês para mil barris por dia. Fonte: Adaptado de Apape, 2013.	46
Figura 9 - Nova configuração do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro após acréscimo de novas unidades produtivas. Legenda: kbpd é a unidade em inglês para mil barris por dia. Fonte: Adaptado de Apape, 2013.	47
Figura 10 - Esquema do Arco Metropolitano e municípios cortados por ele. Fonte: Infográficos O Globo (2014).....	56
Figura 11 - Linha férrea de ligação do Ramal Visconde de Itaboraí ao Ramal de Japeri. Fonte: Apape, 2013.	57
Figura 12 - Linhas de Transmissão de Energia do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Cepemar, 2010.	58
Figura 13 - Representação esquemática das interligações dutoviárias do COMPERJ. Fonte: Concremat, 2007 (2).....	59

Índice de Quadros

Quadro 1 - Primeira parte das Unidades constituintes do processo de refino e produção de petroquímicos do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Concremat, 2007 (2).	64
Quadro 2 - Segunda parte das Unidades constituintes do processo de refino e produção de petroquímicos do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Concremat, 2007 (2).	66
Quadro 3 - Terceira parte das Unidades constituintes do processo de refino e produção de petroquímicos do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Concremat, 2007 (2).	69
Quadro 4- Matriz Base Gerador/Receptor Empreendimento Âncora – Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Elaboração própria.	84
Quadro 5 - Matriz Região Gerador/Receptor. Fonte: Elaboração própria.....	93
Quadro 6 - Matriz Inter-região Gerador/Receptor. Fonte: Elaboração própria.	107

Índice de Tabelas

Tabela 1- Produtos de segunda geração petroquímica e seus potenciais usos nas indústrias de terceira geração. Fonte: Concremat (2007 (2)).	70
Tabela 2 - Correntes estimadas de Efluentes a serem tratados na Estação de Tratamento de Despejos Industriais, nas unidades de águas ácidas e de água bruta. Fonte: Adaptado de Concremat, 2007 (2).	75
Tabela 3 - Correntes de efluentes e suas respectivas vazões estimadas produzidas diariamente no COMPERJ. Fonte: Adaptado de Concremat, 2007 (2).	75
Tabela 4 - Classificação de Resíduos Sólidos. Fonte: Adaptado da NBR-10.004 (ABNT, 2004).	77
Tabela 5 - Resíduos Sólidos, sua classificação e quantidades estimadas pelos Estudos de Impactos Ambientais de geração no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Concremat (2007 (2)) e Mineral Engenharia (2012).	77
Tabela 6 - Resíduos Sólidos a serem gerados no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro e suas respectivas quantidades e destinações previstas nos Estudos de Impacto Ambiental do Complexo e das Unidades Auxiliares ao Complexo (Concremat, 2007 (2) e Mineral Engenharia, 2012).	80
Tabela 7- Principais tipologias industriais identificadas na Área de Influência Regional do estudo – Município de Itaboraí. Fonte: Elaboração própria a partir do Cadastro de Indústrias da FIRJAN (2014).	88
Tabela 8 - Principais resíduos gerados no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro e seus potenciais receptores industriais. Fonte: Elaboração própria, baseada em COPPE-UFRJ-IBAM (2005); Veiga (2007); US-EPA (1996); Bolsa de Resíduos - FIRJAN (2014); Lucas& Benatti (2008); FIRJAN (2006); Pinho et al. (2013); Romão et al. (2009); Gotardi et al. (2015); Vieira & Monteiro (2006); Concremat (2007 (2)); Canchumani (2013); Lobato (2014).	89
Tabela 9 - Principais tipologias industriais encontradas nos municípios de Itaboraí, São Gonçalo, Tanguá, Rio Bonito, Magé, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu. Fonte: Elaboração própria.	104

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização e Justificativa do Tema

O crescimento econômico desejado pelos países desenvolvidos e em desenvolvimento, muitas vezes, é alcançado através da industrialização. Porém, este processo ocorre, em sua maioria, sem que haja a preservação dos ecossistemas, dos recursos naturais e com crescimento urbano intenso e desorganizado, o que contribui de forma decisiva para a contaminação e destruição do meio ambiente.

Apesar da escassez de recursos naturais ser visivelmente crescente, a consciência ambiental está, a passos lentos, cada dia mais presente na sociedade, com legislações cada vez mais exigentes. Por conta disso, há um crescente interesse em alcançar o desenvolvimento sustentável nos diferentes setores das atividades humanas.

Diante deste cenário, houve o surgimento de inúmeros conceitos que visavam atingir o desenvolvimento sustentável, conciliando ganhos econômicos, ambientais e sociais, culminando no final da década de 80, no surgimento do conceito de Ecologia Industrial (Gibs & Deutz, 2005).

A Ecologia Industrial vem se desenvolvendo como uma nova visão da produção que analisa internamente os processos produtivos e busca maneiras de aperfeiçoá-los, reduzindo gastos, o consumo de recursos naturais e, principalmente, o impacto negativo ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que possibilita o crescimento econômico. Isso se dá através do aprimoramento do uso de recursos nas atividades industriais e no recente estabelecimento de ações sinérgicas entre as indústrias. Estas ações se referem ao uso de resíduos de um processo produtivo como insumos em outros processos industriais, passando os resíduos a serem valorados economicamente. Além de resíduos, utilizados como insumos em outras empresas, as sinergias podem se estender ao uso compartilhado de utilidades públicas, informações e infraestrutura útil (produção de energia, tratamento de água, etc.) entre os parceiros.

Dentre as principais indústrias notadamente reconhecidas por seus impactos ao meio ambiente, tem-se as refinarias e polos petroquímicos, que possuem enorme potencial poluidor detectado desde a exploração à comercialização dos derivados do

setor petrolífero. Entretanto, não se pode ignorar a importância do petróleo e seus derivados na economia mundial em razão do constante crescimento da demanda por energia.

Dessa forma, além de incentivos fiscais que visem o desenvolvimento sustentável, as empresas de óleo e gás também devem procurar benefícios econômicos, sociais e financeiros a partir do gerenciamento colaborativo de resíduos sólidos como uma das prioridades de suas operações e decisões, impulsionadas pela crescente preocupação da sociedade com a preservação ambiental.

A expectativa de que a indústria petrolífera nacional fosse capaz de suprir parte da demanda energética do país obrigou a Petrobras (principal investidora do setor) a aumentar seus investimentos no refino e na produção de derivados de petróleo (Concremat, 2007 (2)).

Nesse contexto, surgiu o projeto do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – COMPERJ, incluído no Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal, que compreendia a construção de um complexo industrial de refino de petróleo e produção de petroquímicos básicos e resinas plásticas, a partir do petróleo pesado Marlim, proveniente da Bacia de Campos. O projeto do Complexo previa uma área de 45 km² no município de Itaboraí, com 11 km² destinados às instalações industriais (Concremat, 2007 (2)).

É imprescindível que um empreendimento deste porte e de suma importância econômica e preocupe com suas formas de produção, consumo e geração de resíduos, a fim de garantir melhorias ambientais, ganhos econômicos e melhor aceitação da população.

Vale ressaltar que, quando este trabalho foi vislumbrado, as obras do Complexo evoluíam normalmente, porém diante do seu encarecimento, da queda do preço do barril de petróleo, dos recentes eventos envolvendo a Petrobras e diversas construtoras e empreiteiras, o projeto do COMPERJ sofreu alterações e atualmente as obras encontram-se paralisadas.

Levando em consideração a falta de previsão para retomada das obras do Complexo, que perdura até o início do ano de 2016, o presente estudo abordará a

configuração original do empreendimento – refino do petróleo e geração de petroquímicos.

Neste trabalho serão avaliadas com maior profundidade as ferramentas Parques Industriais Ecológicos (PIEs) e Simbiose Industrial (SI), com enfoque em parcerias estabelecidas entre empresas que não fazem parte de um mesmo distrito industrial.

1.1.1. Objetivo

Como objetivo do trabalho visou-se evidenciar a potencialidade que grandes empreendimentos, como o COMPERJ, possuem na aplicação dos conceitos de Ecologia Industrial, estabelecimento de sinergias e implementação de uma gestão compartilhada de resíduos e infraestrutura. A partir disso, pretende-se contribuir com um *background* de implantação de sistemas de Simbiose Industrial e minimização de impactos causados pela geração de resíduos em Polos Petroquímicos.

Além disso, como objetivo secundário, pretendeu-se evidenciar que conforme a expansão da área de influência do sistema de Simbiose Industrial, maiores as possibilidades de formação de parcerias (sinergias).

1.2. Metodologia do Trabalho

O presente estudo foi realizado em três principais etapas:

- a. Revisão da bibliografia sobre o referencial teórico da Ecologia Industrial através de consultas a artigos (em sites de pesquisa como Science Direct, por exemplo), estudos de casos de PIEs desenvolvidos em outros países e trabalhos universitários, e fundamentação do tema;
- b. Levantamento de dados em torno do empreendimento âncora selecionado para o trabalho – Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) e do município de Itaboraí;

- c. Desenvolvimento de cenários de possíveis sinergias que possam ser estabelecidas dentro da própria âncora e entre ela e as tipologias industriais (tipos de indústrias, p.e. siderúrgica, química, de alimentos, etc.) do seu entorno regional e inter-regional.

Conforme mencionado, a pesquisa foi baseada inicialmente em uma revisão bibliográfica sobre o referencial teórico da Ecologia Industrial, a partir de palavras chave como: Parques Industriais Ecológicos, Simbiose Industrial, e exemplos encontrados em diferentes países, como Ecologia Industrial na China, nos Estados Unidos, na Austrália, em Kalundborg, entre outros. Além disso, o levantamento também incluiu a implementação do conceito na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, através de consulta ao Relatório Final de Revisão do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ (COPPE-UFRJ-IBAM, 2005) e a trabalhos universitários, como Veiga (2007), Fragomeni (2005), Tanimoto (2004), etc.

Em uma segunda etapa do estudo, a partir das proposições de Lowe (2001) para estabelecimento de um PIE, descritas no item 2.1.3.2 deste trabalho, foi selecionado um empreendimento âncora para o qual se propõe papel de liderança e a partir do qual outras potenciais tipologias industriais foram selecionadas como participantes de um sistema de simbiose industrial.

O empreendimento âncora escolhido foi o COMPERJ e a partir dele foi realizado um levantamento de informações. Os dados analisados sobre o Complexo compreendem sua inserção no contexto petrolífero brasileiro e seu processo produtivo. Para pesquisa, foram utilizadas informações disponíveis nos Estudos de Impacto Ambiental e seus respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) referentes ao Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Concremat, 2007 (1 e 2)) e a suas infraestruturas associadas (Bourscheid, 2009; Cepemar, 2010; Mineral Engenharia, 2012).

Também foi feita uma pesquisa sobre a situação atual do empreendimento e sobre a região escolhida para recebê-lo (Itaboraí) e sua área estratégica. Para isso foi consultada a internet e a imprensa a fim de elaborar o histórico do empreendimento, visto que, com o andar do estudo, a construção do Complexo foi paralisada devido a

dificuldades econômicas enfrentadas pelo país e por escândalos políticos envolvendo a Petrobras, empreendedora do COMPERJ.

Foram consultados sites como o da Prefeitura de Itaboraí (2016), e Agenda 21 (2015) para desenvolvimento do histórico do município e o Plano Municipal de Água e Esgoto de Itaboraí (BIORIO, 2014) para análise de suas características geográficas e socioeconômicas.

Baseado na classificação de PIEs proposta por Chertow (2000), descrita no item 2.1.2 deste trabalho, iniciou-se a terceira etapa do estudo, que compreende o estabelecimento de três dos cinco tipos de PIEs propostos por Chertow: Eco-Parques formados a partir do intercâmbio interno de resíduos; formados entre indústrias não localizadas em um mesmo parque industrial; e formados entre indústrias organizadas virtualmente. Cada um dos três tipos de PIEs selecionados foi transformado em um cenário no estudo de caso desenvolvido nesta pesquisa e teve o objetivo de mostrar a possibilidade de expansão do sistema de Simbiose Industrial.

Para desenvolvimento dos cenários, foi realizada uma análise do processo produtivo do empreendimento âncora, o estabelecimento de seus fluxos materiais, a fim de determinar possíveis sinergias que pudessem ser estabelecidas dentro da própria âncora e entre ela e os tipos de indústrias no seu entorno, para aplicação dos conceitos de Ecologia Industrial.

Os cenários foram formulados a partir da metodologia de matrizes, apresentadas pela primeira vez num estudo de caso elaborado para o Relatório Final de Revisão do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ (COPPE-UFRJ-IBAM, 2005), que abordava o Distrito Industrial de Campo Grande.

Neste estudo, as matrizes relacionavam as tipologias industriais presentes na Zona de Uso Estritamente Industrial (ZEI) de Campo Grande (coluna principal da matriz) aos principais resíduos gerados na mesma (linha principal da matriz). A partir disso, na interseção entre uma tipologia industrial e determinado resíduo, poderia ser identificada a relação de “Gerador” ou “Receptor”. Produtor, indicado pela letra P, em referência a resíduos produzidos por determinado tipo de indústria e Receptor, indicado pela letra R, para resíduos recebidos como insumo por determinado tipo de indústria.

No presente estudo, as matrizes confeccionadas para cada cenário correlacionam as unidades operacionais (Cenário I) ou os tipos de indústrias que podem ser identificados nas diferentes áreas de influência consideradas (Cenários II e III) com os resíduos relativos a elas, sejam eles gerados como resíduos e/ou recebidos como insumos.

Neste trabalho o termo “Produtor” foi substituído nas matrizes pelo termo “Gerador”.

Para criação das matrizes e desenvolvimento de seus respectivos cenários, foram utilizados dados obtidos: nos Estudos de Impacto Ambiental do COMPERJ (Concremat, 2007 (2)) e das Unidades Auxiliares de Óleos Básicos Lubrificantes e Processamento de Gás Natural (Mineral Engenharia, 2012); no Relatório de Impacto Ambiental do COMPERJ (Concremat, 2007 (1)); no Relatório Final de Revisão do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - RMRJ (COPPE-UFRJ-IBAM, 2005), que apresenta como estudo de caso a possibilidade de implementação de um PIE no Distrito Industrial de Campo Grande; nos relatórios desenvolvidos pelo US-EPA (*US-EPA Sector Notebook Project Profile*, 1996) descrevem, para várias tipologias industriais, o processo produtivo, os insumos demandados e resíduos gerados; no Cadastro Industrial do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2014), a partir do qual foi possível estabelecer as tipologias industriais encontradas no município de Itaboraí e na Área de Influência Inter-regional considerada neste estudo; na Bolsa de Resíduos do Sistema FIRJAN (2014), uma ferramenta de anúncio e busca de resíduos industriais que servem potencialmente como insumos para outros processos produtivos; no Manual de Gerenciamento de Resíduos da FIRJAN (2006), que auxilia a elaboração de um Plano de Gerenciamento; e em artigos científicos e revistas (Pinho et al., 2013; Romão et al., 2009; Moura, 2007; Lucas & Benatti, 2008; Vieira & Monteiro, 2006; Lemos & Masson, 2013; Canchumani, 2013; Lobato, 2014).

1.3.Estrutura da Dissertação

No Capítulo 2, foi apresentado um breve histórico da Ecologia Industrial, tratando desde o surgimento do conceito à sua evolução, atual emprego, ferramentas mais utilizadas e, como serão abordadas posteriormente, a integração entre as

ferramentas Simbiose Industrial (SI) e Parque Industrial Ecológico (PIE), garantindo vantagens econômicas e ambientais e apresentando as dificuldades que ainda devem ser vencidas.

No Capítulo 3, abordou-se o histórico do empreendimento âncora selecionado, o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, bem como sua inserção no cenário do setor petrolífero, a situação atual em que o empreendimento se encontra, possibilidades de crescimento e atração de novas indústrias, a fim de situá-lo no contexto regional e nacional.

Neste Capítulo, também foi realizada a caracterização do município de Itaboraí, escolhido para sediar o empreendimento, seu histórico e características geográficas e socioeconômicas; determinada a área estratégica do COMPERJ e sua infraestrutura externa associada, para proposta do Estudo de Caso desenvolvido no Capítulo 4.

No Capítulo 4, foram apresentadas as proposições para implementação das ferramentas Simbiose Industrial e Parques Industriais Ecológicos na formação de parcerias entre as empresas envolvidas no COMPERJ.

A partir dos dados levantados nos Capítulos 2 e 3, foram estabelecidos fluxos sinérgicos, chamados de cenários, que expõem com clareza como o estabelecimento de parcerias pode ser vantajoso.

Nesse sentido, o primeiro cenário desenvolvido deu enfoque ao empreendimento âncora – empreendimento que atrai outras empresas através tanto de seus produtos, quanto de seus resíduos (dentro da visão de EI). Para a construção desse cenário, identificou-se toda a cadeia produtiva da âncora e se estabeleceu seu fluxo de materiais a partir do que ela usa, produz e gera como resíduos. A partir disso, foi confeccionada a Matriz Base Produtor/Receptor de sinergias, ou seja, uma matriz que apresenta as sinergias que podem ser formadas dentro do próprio empreendimento, por exemplo, tratamento e reuso de água.

O segundo cenário formulado consiste na primeira expansão da área de influência do sistema e na identificação de possíveis parceiros regionais. Nesse intuito, foi delimitada uma área de influência que engloba empresas que já existem em Itaboraí e são potencialmente produtoras e receptoras de resíduos e serviços.

Ao identificar tais empresas, foram avaliadas quais suas tipologias industriais e, a partir disso, uma Matriz Região Produtor/Receptor foi formulada levando em consideração os possíveis intercâmbios que pudessem ser estabelecidos entre os resíduos gerados na âncora e as indústrias do seu entorno. Adicionalmente, também foram propostos elementos como centrais de armazenamento, tratamento e distribuição de resíduos, centrais de reuso e reciclagem, a fim de potencializar as sinergias em longo prazo.

Diante da área de influência estabelecida, o município de Itaboraí, decidiu-se fazer uma expansão da mesma para comprovação de que quanto mais abrangente a Área de Influência considerada, maiores as chances de estabelecimento de novas sinergias e variedade de tipologias industriais que podem ser inseridas a Simbiose Industrial. Daí surgiu o terceiro cenário.

Para tanto, foi adotada uma Área de Influência Inter-regional considerando os municípios a 10 e 20 km do centro de gravidade do COMPERJ: São Gonçalo, Tanguá, Rio Bonito, Magé, Itaboraí, Guapimirim e Cachoeiras de Macacu.

As áreas estipuladas a 10 e 20 km do centro de gravidade do COMPERJ foram denominadas no Estudo de Impacto Ambiental do Complexo (Concremat, 2007 (2)) como Área Diretamente Afetada e Área de Influência Direta, respectivamente. A partir destas foi selecionada a Área de Influência Inter-regional deste estudo.

Conforme abordado no Capítulo 3, a área estratégica do empreendimento está dividida no EIA (Concremat, 2007 (2)) em Áreas: de Abrangência Regional – municípios de Guapimirim, Tanguá, Maricá, São Gonçalo, Cachoeiras de Macacu; Niterói, Rio Bonito, Magé, Silva Jardim e Casimiro de Abreu; de Influência Indireta – 17 municípios do Rio de Janeiro; de Influência Direta – municípios interceptados num raio de 20 km do centro de gravidade do sítio do COMPERJ (São Gonçalo, Tanguá, Rio Bonito, Magé e Itaboraí); Diretamente Afetada – municípios interceptados num raio de 10 km do centro de gravidade do COMPERJ (Itaboraí, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu e Tanguá).

Como área de influência inter-regional deste estudo, foram consideradas as áreas de influência direta e diretamente afetadas caracterizadas pelo Estudo de Impactos do Complexo Petroquímico, abrangendo em conjunto os municípios de São Gonçalo,

Tanguá, Rio Bonito, Magé, Itaboraí, Guapimirim e Cachoeiras de Macacu. Dessa forma, são apresentadas abaixo as principais características socioeconômicas dos mesmos para estabelecimento de possíveis sinergias com o empreendimento âncora. Lembrando que o município de Itaboraí foi apresentado detalhadamente no Capítulo 3, por ser o local escolhido para implantação do empreendimento âncora.

A partir do levantamento dos tipos de indústrias encontradas na Área de Influência Inter-regional, foi gerada a Matriz Inter-região Produtor/Receptor e avaliados seus benefícios.

Por fim, no Capítulo 5, foram apresentadas as conclusões da pesquisa no âmbito dessa dissertação e feitas recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

Neste Capítulo, apresenta-se uma breve análise do conceito da Ecologia Industrial, sua origem e algumas de suas principais ferramentas, Simbiose Industrial e Parques Industriais Ecológicos (PIE). Em seguida, são apresentadas questões a serem levantadas para estabelecimento de redes de Simbiose Industrial durante o planejamento de um Parque Industrial Ecológico.

Por fim, são descritos alguns exemplos de Simbioses Industriais e Parques Industriais Ecológicos reconhecidos internacionalmente, além das iniciativas de implementação de PIEs na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

2.1. O Conceito de Ecologia Industrial e suas Ferramentas

A Ecologia Industrial vem se desenvolvendo desde a década de 1980 como uma nova visão da produção que busca reduzir os impactos ambientais causados pelas indústrias e, ao mesmo tempo, possibilitar o crescimento econômico. Isso se dá através da modificação da maneira de se pensar nos processos e produtos e conta com participação entre as diferentes organizações, envolvendo trocas de bens tangíveis e intangíveis.

O termo Ecologia (do grego, *Oikos* – casa, morada; Logia, de *Logos* – estudo de) foi criado pelo biólogo alemão Ernest Haeckel, em 1866, para nomear uma disciplina científica cujo objetivo era analisar a distribuição, a abundância dos organismos, as interações e fluxos de materiais e energia entre eles, e com o meio em que vivem (Marcondes, 1998 *apud* Veiga, 2007).

Com o passar do tempo, o conceito de Ecologia tornou-se muito mais abrangente, deixando de ser apenas uma disciplina para se tornar um movimento social e político. Essa transformação foi consequência da evolução, tanto da vertente biológica original, que se deparou com a grande complexidade dos ecossistemas, exigindo uma mudança conceitual e metodológica; como da vertente social, preocupada em discutir as relações do homem com a sociedade, sendo conhecida posteriormente como Ecologia Social (Lago e Pádua, 1984).

A partir de conceitos teórico-científicos apresentados pela Ecologia Natural e Social, desenvolveram-se objetivos de atuação mais práticos como o Conservacionismo e o Ecologismo (Lago e Pádua, 1984), dando embasamento necessário para o surgimento, no final da década de 80 (Erkman, 1997), do conceito de Ecologia Industrial (EI). O conceito passou a ser utilizado a partir de um artigo intitulado “Strategies for Manufacturing” de Frosch e Gallopoulos, do ano de 1989 (Fragomeni, 2005), porém noções intuitivas do assunto já se mostravam desde a década de 70 (Erkman, 1997).

De acordo com Frosch e Gallopoulos (1989), um sistema industrial ideal seria aquele que preza pela otimização do consumo de energia e materiais e no qual há minimização da geração de resíduos e efluentes decorrentes do processo produtivo, uma vez que estes, de alguma forma, seriam tratados e reintroduzidos no ciclo produtivo como matéria-prima para outros processos.

Para um melhor entendimento do assunto, dois conceitos biológicos são utilizados: ecossistema e metabolismo (Fragomeni, 2005).

O termo Ecologia Industrial foi baseado em “ecossistemas naturais”, que dependem de atividades integradas, da ciclagem de materiais e do fluxo de energia para que ocorram inter-relações entre os seres vivos e entre eles e seu ambiente. Numa ótica tradicional, ecossistema natural e sistema industrial são vistos como dois sistemas independentes. A EI é vista como uma área de conhecimento que busca interligar o sistema industrial com o ecossistema ecológico (e urbano) que o cerca (Chertow, 2000), promovendo o “fechamento” do fluxo de materiais no sistema industrial, analogamente ao modelo produtor-consumidor-decompositor dos sistemas naturais (através do reuso de materiais) e a integração de ambos os sistemas (Ótica da Ecologia Industrial) (Figura 1). Dessa forma, busca manter o desenvolvimento econômico, cultural e tecnológico de forma sustentável, buscando formas de otimizar a ciclagem (ou reuso) de materiais desde a matéria-prima virgem até a disposição final de resíduos, comumente conhecido como “berço ao túmulo”, ou como é abordado atualmente, do berço ao berço, considerando a ciclagem de resíduos entre indústrias.

Sendo assim, as indústrias deixam de ser vistas isoladamente e passam a fazer parte de um sistema industrial integrado, no qual o resíduo gerado por uma se torna

insumo (*feedstock*) para o processo produtivo de outra (Gertler, 1995), e o conceito de resíduo deixa de existir (Veiga, 2007). Na prática, é impossível não gerar resíduo algum, por mais que estes sejam tratados e reutilizados, mas a intenção é reduzir ao máximo sua geração.

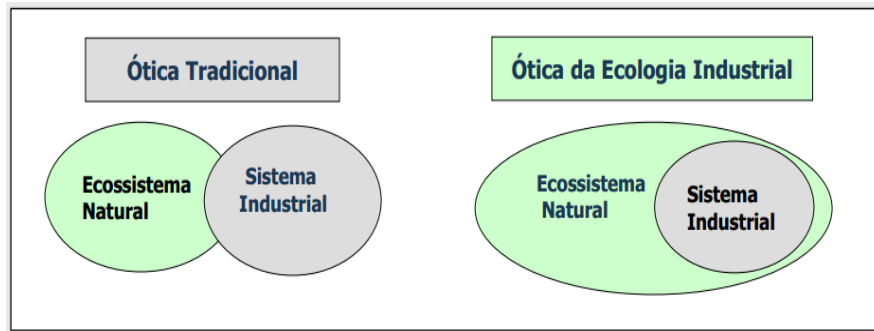


Figura 1 - Ótica tradicional X Ótica da Ecologia Industrial. Adaptado de Chertow, 2002 *apud* Veiga, 2007.

Vale ressaltar que sob esta visão, o termo “indústria” faz referência a todas as atividades ligadas ao processo produtivo, desde a mineração, agricultura, manufatura e construção, considerando a geração de energia, o transporte, o uso de produtos e, por fim, a disposição final (Tavares, 1999 *apud* Fragomeni, 2005).

O conceito biológico “metabolismo” é tido como o conjunto de transformações sofridas pelos materiais (nutrientes) ingeridos por um organismo vivo, liberando energia. Extrapolando este conceito para metabolismo industrial, os materiais seriam os insumos (virgens ou reutilizados), incluindo água e energia, convertidos em produtos e resíduos durante o processo produtivo (Ayres, 1994 *apud* Fragomeni, 2005).

Pode-se comparar conceito de metabolismo com a definição de reciclagem apresentada na Política Nacional de Resíduos Sólidos. Nesta, reciclagem é tida como o “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos...” (Brasil, 2010). Dito isso, o metabolismo industrial pode ser comparado às transformações sofridas pelos materiais durante seu processo produtivo, que altera suas propriedades, gerando novos produtos e resíduos que podem servir como insumos, relacionando-se ao conceito de reciclagem.

O conceito de metabolismo industrial foi desenvolvido por Robert Ayres em 1989 e tem a intenção de mostrar como o uso de recursos no processo produtivo, assim como na natureza, pode ser capaz de devolver, ao invés de resíduos, novos insumos, “nutrientes” que retornam ao processo. Sendo assim, os impactos associados à poluição e ao descarte de resíduos podem ser sensivelmente reduzidos, e o consumo energético racionalizado (Santos, 2013).

Quando se relaciona ecossistema industrial e metabolismo industrial com EI, tem-se que “a EI não analisa apenas o funcionamento dos sistemas industriais, como ocorre no metabolismo industrial, mas também propõe a reestruturação do ecossistema industrial compatível com os ecossistemas naturais, considerando também a ótica da sustentabilidade” (Erkman, 2001).

As indústrias não estariam mais somente focadas em seus próprios processos, mas uso de energia e materiais seria otimizado e cada coproduto gerado seria tratado e teria valor econômico, garantindo que poderia ser comercializado e usado por outros processos industriais, reduzindo a geração de resíduos e poluição, assim como a extração de matérias-primas, o que causaria consequentemente a redução dos impactos ao meio ambiente (Garner, 1995).

A atividade humana e o processo industrial devem ser alterados para que seu funcionamento seja semelhante ao de um ecossistema natural. Lowe (2001) definiu como princípios da EI:

- Integração entre a indústria e o ecossistema industrial, através de mecanismos de reuso e reciclagem de materiais, redução no consumo de energia, água, matéria-prima, minimização dos resíduos provenientes da atividade industrial, troca de informações e compartilhamento de infraestrutura;
- Reengenharia da produção: substituição de tecnologias tradicionais por novas tecnologias;
- Produção de mais com menos, tecnicamente chamado de desmaterialização; e
- Planejamento dos sistemas industriais considerando as necessidades econômicas sociais da comunidade: novas oportunidades de emprego, melhores condições de trabalho e diminuição dos impactos resultantes da atividade industrial no meio-ambiente.

A Ecologia Industrial, na tentativa de entender o potencial de aumento da qualidade ambiental nas industriais (Gibs & Deutz, 2005) está interessada, principalmente, nos fluxos de materiais e energia dos sistemas em diferentes escalas, do produto à fábrica, em âmbito local a global (Chertow, 2004). Ou seja, a EI pode ser alcançada pelo aprimoramento do uso de recursos individualmente por cada atividade industrial, ou através de ações sinérgicas entre indústrias. As sinergias não se limitam somente a resíduos, mas podem se estender a sinergias de utilidades públicas, o uso compartilhado de infraestrutura útil, por exemplo, na produção de energia, tratamento de água e de água residual ou de descarte (van Beers *et al.*, 2007). Dito isso, considera-se que ela possa ser aplicada em três diferentes níveis: dentro da própria indústria, entre indústrias e em nível regional ou global (Chertow, 2000).

Como pode ser visto na Figura 2, dentro da própria indústria existem ferramentas como a Prevenção da Poluição, a Produção Mais Limpa, o Projeto para o Meio Ambiente e a Contabilidade Verde. Já no nível “entre indústrias” pode-se contar com ferramentas como a Análise de Ciclo de Vida, a Simbiose Industrial, os Parques Industriais Ecológicos, e iniciativas setoriais (como o Programa de Atuação Responsável). No nível regional ou global de EI, existem ferramentas como Análise do Fluxo de Materiais e Energia, Planejamento Estratégico, Plano de Desenvolvimento Regional ou Nacional e Avaliação Ambiental Estratégica (Chertow, 2000). Assim sendo, pode-se observar o quão ampla é a EI, podendo ser aplicada a diversas situações.

Alguns autores, como Saikku (2006), interpretam PIE e SI como sinônimos, fazendo com que muitas vezes uma mesma situação seja abordada tanto como PIE, como um caso de SI. Serão apresentadas a seguir as definições de cada ferramenta.

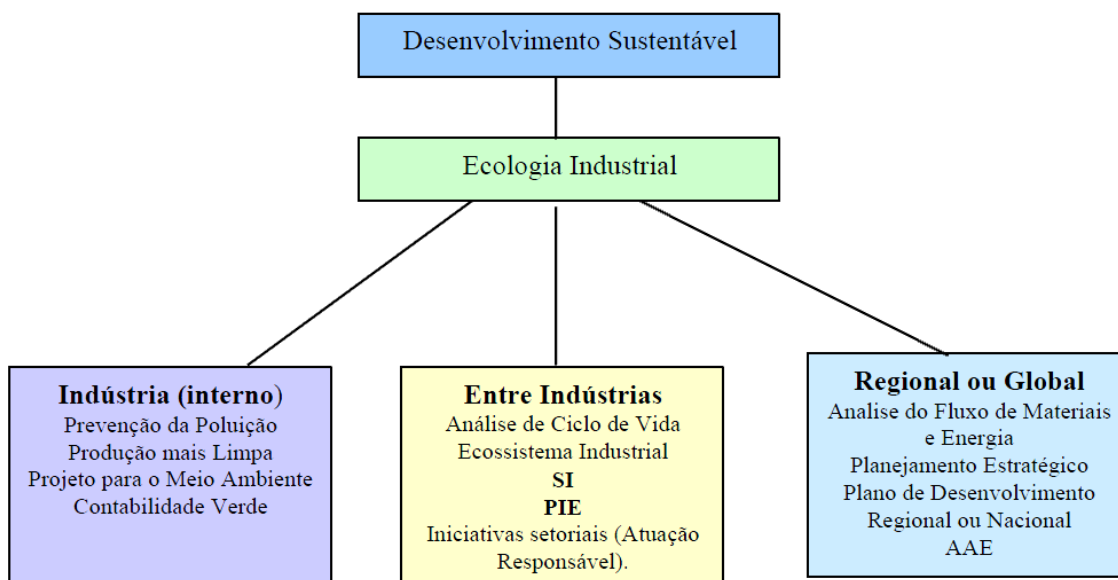


Figura 2 - Níveis de Abrangência da Ecologia Industrial e suas ferramentas. Fonte: Chertow, 2000 *apud* Veiga, 2007.

2.1.1. Simbiose Industrial

Assim como para se alcançar o conceito da EI foram realizadas comparações com sistemas biológicos, o conceito de Simbiose Industrial também fez uso deste recurso ao realizar uma analogia com o relacionamento simbiótico entre dois ou mais organismos de espécies diferentes na natureza. Através da simbiose biológica, os organismos trocam materiais, energia e informações de forma mutuamente vantajosa, sendo muitas vezes essenciais à sobrevivência de algum deles ou de ambos.

Da mesma forma, na simbiose industrial, é formada uma rede cooperativa entre as empresas, que trocam seus coprodutos entre si e adquirem benefícios maiores do que a soma de benefícios individuais caso cada uma delas existisse individualmente (Santos, 2013; Magrini & Elabras-Veiga, 2012). Como ferramenta da EI, a Simbiose Industrial visa otimizar o uso de recursos através de seu intercâmbio em uma economia a nível local ou regional, gerando vantagens competitivas (Chertow, 2000).

Para Pereira e colaboradores (2007) a SI se baseia em três pilares: informação geográfica, informação organizacional e informação sobre processos. Tais pilares interconectam as atividades industriais, oferecendo embasamento ao intercâmbio de

subprodutos (em um mesmo parque industrial ou entre empresas vizinhas) e à construção de uma nova rede de interconectividade produtiva local.

Ao permutar matéria-prima, resíduos, água e energia, a SI associa vantagens de atividades econômicas ao bem estar da comunidade em geral, reduzindo danos ao meio ambiente e à própria comunidade referentes ao processo produtivo, aumentando o desenvolvimento comunitário, a eficiência energética, além de reduzir custos operacionais das indústrias envolvidas (Veiga, 2007).

De acordo com Veiga (2007), “apesar de o foco central da SI ser o intercâmbio de recursos tangíveis conforme citado anteriormente, deve-se considerar também o possível intercâmbio de recursos intangíveis, como: conhecimento, recursos humanos (nível gerencial e operacional), onde, da mesma forma que os demais recursos, os custos são reduzidos e os benefícios são compartilhados”.

2.1.2. Parques Industriais Ecológicos

Para Chertow (2000), Parques Industriais Ecológicos (PIEs) são a realização concreta do conceito de Simbiose Industrial, melhorando o desempenho econômico das empresas participantes, reduzindo impactos ao meio ambiente e à comunidade local, resultantes das atividades industriais. Portanto, os PIEs podem ser considerados uma aplicação prática da ecologia industrial (Chae et al., 2010).

De acordo com o Conselho de Desenvolvimento Sustentável dos Estados Unidos da América (*President Council of Sustainable Development - PCSD*, 1996), PIEs podem ser definidos como uma comunidade de indústrias que cooperam e desenvolvem parcerias entre elas e com a comunidade local, a fim de otimizar a troca de recursos e serviços e obter, conseqüentemente, ganhos econômicos, ambientais e sociais, sendo este último pilar ainda não considerado na definição do *PCSD* (Veiga, 2007). Dessa forma, este tipo de planejamento e gestão ambiental cooperativa leva ao desenvolvimento sustentável, assumindo o mesmo grau de importância a cada pilar supracitado (Veiga & Magrini, 2009).

De acordo com Saikku (2006), PIE tem diversos sinônimos, por exemplo, ecossistemas industriais, simbiose industrial, estado industrial ecológico, rede industrial

ecológica, desenvolvimento industrial ecológico, entre outros. Porém, ela afirma que o que diferencia cada conceito deste é o objetivo de cada um deles. O termo “Ecosistemas industriais” tem foco na máxima aproximação de um sistema industrial a um ecossistema natural, já o termo “simbiose industrial” é atribuído devido ao enfoque em ligações sinérgicas e simbióticas entre as indústrias. No caso das redes industriais ecológicas, o objetivo principal é a ênfase na cooperação, porém este termo pode ser utilizado como amparo para diversos conceitos.

Veiga & Magrini (2009) os caracteriza como um instrumento importante de planejamento e gestão ambiental corporativa que busca alinhar as atividades industriais às metas de desenvolvimento sustentável, o que inclui também a questão social.

Os Eco-Parques garantem a redefinição de resíduos em insumo ou subprodutos para outros processos industriais e, dessa forma, os resíduos passam a ser valorados economicamente. Conseqüentemente, há a redução de descartes, que reduz os custos com disposição final e minimiza os impactos sobre o meio ambiente e gera ganhos econômicos às empresas. Além disso, devido à cooperação entre as empresas e à busca por novas tecnologias que melhorem sua interação, há a geração de novos empregos, a redução no uso de matérias-primas virgens (ajudando na preservação da biodiversidade) e em emissões de poluentes para atmosfera (Gibs & Deutz, 2005).

Saikku (2006) também cita outros benefícios que os PIEs podem trazer às empresas que se associam a eles, como ganho de competitividade, pois melhoram a visibilidade da empresa no mercado, acesso à rede de transportes, compartilhamento de escritório e informações.

A colocalização de empresas constituintes de um Eco-Parque não é uma regra segundo as cinco tipologias apresentadas por Chertow (2000) para PIEs, as quais são: “intercâmbio externo de resíduos, intercâmbio interno de resíduos, indústrias localizadas em um mesmo parque industrial, indústrias não localizadas em um mesmo parque industrial e indústrias organizadas virtualmente”.

De acordo com a classificação de PIEs proposta por Chertow (2000), o primeiro tipo de PIE, aquele estabelecido por intercâmbio externo de resíduos, caracteriza-se pela reciclagem, doação ou venda de material residual para outras empresas, podendo

ocorrer desde trocas informais a redes de trocas – criação de um banco de dados que sintetize oferta e demanda dos resíduos.

Tanimoto (2004) apresenta como exemplos típicos deste tipo de Eco-Parque as doações de vidro para instituições filantrópicas e papel e plásticos para cooperativas de catadores, e a venda de sucata metálica para reaproveitamento ou reprocessamento em siderúrgicas. Outro exemplo muito citado desta tipologia é a Bolsa de Resíduos da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2014). Não conta com uma estrutura física, apenas com sistema de informações, sendo considerado uma ação fim de tubo, caracterizada por programas de reciclagem.

A segunda tipologia de PIE proposta por Chertow (2000) prioriza o intercâmbio de materiais residuais, energia e água dentro dos limites de uma única unidade industrial ou entre indústrias de uma mesma corporação. Ou seja, as sinergias não são formadas entre diferentes empresas.

PIEs estabelecidos entre firmas instaladas em Polos Industriais constituem a quarta tipologia considerada pela autora e são encontrados em maior proporção ao redor do mundo e na literatura. Estes Parques Ecológicos tratam de empresas colocalizadas, ou seja, empresas localizadas dentro de um polígono delimitado fisicamente, que instituem sinergias de materiais, subprodutos, água e energia, e permitem o compartilhamento de informações, recursos humanos, licenças, força de trabalho, treinamento, restaurante, áreas de lazer, transporte e serviços de marketing (Veiga, 2007; Tanimoto, 2004).

A maioria dos PIEs ocorre entre empresas colocalizadas em distritos industriais, nos quais as mesmas se dividem em microrregiões conhecidas como *clusters*. Quando os *clusters* são planejados antes da implementação do distrito industrial, com base em estudos potenciais de sinergias e parcerias, o PIE é conhecido como um *Greenfield*. Por outro lado, quando os *clusters* são determinados em distritos já existentes, em operação ou não, sendo que já existe infraestrutura e até mesmo algum tipo de parceria, o PIE passa a ser chamado de *Brownfield*, pois se faz uma ligação entre os atores já existentes.

A fim de diferenciar Parques Industriais, ou distritos industriais, de Parques Industriais Ecológicos, Fragomeni (2005) propõe que “Parques Industriais demonstram claros padrões de desenvolvimento, definição de propriedade, responsabilidade pelo

gerenciamento, manutenção e controle. Contudo, a proposta dos Parques Industriais Ecológicos é que as empresas operem como uma comunidade em torno de interesses não só econômicos, mas também ambientais e sociais em comum. Sua proposta é fazer com que os aglomerados industriais funcionem localmente como ecossistemas industriais, buscando localmente o fechamento do ciclo de materiais e a racionalização e otimização do uso de água e energia”.

PIEs estabelecidos entre firmas não limitadas fisicamente, ou não localizadas em um mesmo PIE – quarta tipologia proposta pela autora, abrangem empresas dispersas em uma mesma região geográfica, e não concentradas em um mesmo parque ou distrito industrial, em busca constante de novos parceiros para troca de subprodutos e criação de novos negócios, a fim de atender a demandas recíprocas.

Este tipo de PIE é vantajoso, pois novas empresas podem aderir ao arranjo sem precisar alterar sua localização atual e se mudar para o PIE, a fim de se inserir na simbiose industrial local. Como exemplo deste arranjo de Parque Industrial Ecológico tem-se o famoso Parque Industrial Ecológico Kalundborg na Dinamarca, no qual as indústrias estão localizadas em um mesmo município e existe uma constante adesão de novos parceiros.

O quinto tipo de PIEs identificado por Chertow (2000) são aqueles estabelecidos entre empresas organizadas virtualmente – PIE ou Eco-Parque Virtual. Nestes, as empresas não estão localizadas num mesmo distrito industrial ou mesmo município, mas em diferentes áreas, como diferentes municípios, ou diferentes parques industriais. Tal fato aumenta consideravelmente a distância entre elas, pois é adotado por indústrias que não pretendem mudar sua localização geográfica, mas que possuem interesse na promoção de sinergias com outras empresas, economizando custos com a mudança de sítios.

No Parque Industrial Ecológico Virtual é promovida uma expansão na escala de trocas para uma área física mais abrangente e com maior diversidade de atores envolvidos, possibilitando um aumento de potenciais intercâmbios devido ao maior número de empresas a acessarem a rede (Magrini & Elabras-Veiga, 2012). Outra vantagem é a adesão de pequenas empresas que podem ser atendidas por transporte

rodoviário. A principal desvantagem deste tipo de PIE é a impossibilidade de compartilhamento de recursos e mão de obra.

Nos PIEs Virtuais, é imprescindível o desenvolvimento de programas que otimizem as ligações e o transporte de materiais. É necessário um sistema de informações, como uma bolsa de resíduos, na qual são apresentados os tipos de resíduos, suas quantidades, valores (podendo também ser doações) e a localização do gerador, a fim de que as trocas possam ser instituídas. Como exemplo tem-se o PIE de Brownsville, Texas / Matamoros, México, e o projeto realizado pelo Triangle J na Caroline do Norte, abrangendo 182 empresas localizadas em 6 municípios, contando com o suporte de 4 universidades da região (Veiga, 2007).

O perfil das indústrias e os aspectos sociais, econômicos e culturais da região influenciam muito no estabelecimento de um PIE e seu sucesso depende fortemente da cooperação entre o setor público (agências governamentais), o setor privado (empresas indústrias e tomadores de decisão) e os membros da comunidade.

Portanto, apesar de a ecologia industrial através dos PIEs ser uma forma de alcançar o desenvolvimento sustentável na área industrial, atingir todos os pré-requisitos, principalmente as relações de trocas simbióticas, é um problema enfrentado nos primeiros estágios de sua execução (Gibs & Deutz, 2007), como no caso do Brasil, apresentado no item 2.2.2.

2.1.3. A Implantação de Sistemas de Simbiose Industrial e de Parques Industriais Ecológicos

Neste estudo a diferenciação adotada entre SI e PIE foi realizada da seguinte maneira: quando a abordagem se refere apenas ao estabelecimento de uma rede de sinergias e a criação de um sistema de informações (banco de dados) que permitam a comunicação e a formação de parcerias entre os diferentes atores, tem-se um caso de Simbiose Industrial. Entretanto, ao se expandir essa abordagem para adoção de sistemas de compartilhamento de infraestrutura e mão de obra, pode-se interpretar este cenário como exemplo de um Parque Industrial Ecológico.

2.1.3.1. Formação de Sistemas de Simbioses Industriais e Gerenciamento de Informações

A análise de processos produtivos e o reconhecimento de seus fluxos materiais possibilitam a identificação dos resíduos gerados nos processos. Tais resíduos, dentro do conceito de SI são vistos como subprodutos e podem ser reutilizados em outros processos dentro da mesma indústria ou entre indústrias diferentes, necessitando ou não de tratamento prévio. De acordo com Chertow (2007), para que se tenha efetivamente o estabelecimento de uma Simbiose Industrial, pelo menos 3 empresas devem trocar entre si no mínimo dois tipos de recursos diferentes para reuso (

Figura 3).

Segundo Moraes (2007), para o planejamento inicial de um sistema de Simbiose Industrial, devem ser realizadas análises econômicas, técnicas, ambientais e fiscais. Ou seja, devem ser realizadas investigações do potencial de retorno do investimento para alocação de materiais e pessoas pelas empresas – análise econômica, das tecnologias disponíveis – análise técnica, identificação de parâmetros ambientais almejados – análise ambiental, e medidas de regulamentação – análises ambientais e fiscais.

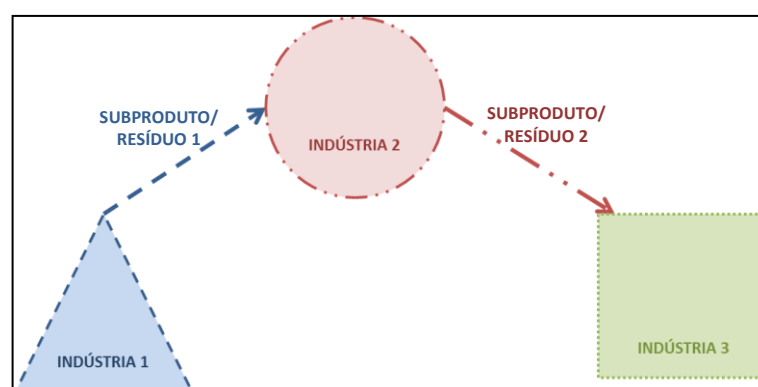


Figura 3 – Representação da simbiose envolvendo pelo menos 3 diferentes empresas e no mínimo 2 diferentes subprodutos. Fonte: Adaptado de Chertow (2007).

Para Chertow (2007), a SI e, posteriormente, os PIEs podem surgir de forma Planejada ou a partir de Auto-Organização das empresas. O modelo Planejado consiste na idealização do PIE a partir de iniciativas de órgãos ou agências governamentais, acadêmicas ou de Organizações Não Governamentais – ONGs e conta com a identificação prévia de diferentes tipologias industriais e possíveis intercâmbios que possam ser formados entre elas. Como no caso do Triangle J, na Carolina do Norte, apresentado posteriormente no item 2.2.1.2.

O modelo de Auto-Organização das empresas conta com o surgimento de intercâmbios a partir de iniciativas do setor privado, visando rentabilidade e maior competitividade no mercado, ou até mesmo devido a pressões regulatórias de redução de emissões, eliminação de desperdícios e eficiência no uso dos recursos naturais. Pode não haver, no início, consciência por parte dos atores envolvidos que estão formando uma rede de simbiose industrial, mas os projetos podem ser fortalecidos com o passar do tempo através de incentivos e de boa coordenação. Como no caso da Simbiose Industrial de Kalundborg, na Dinamarca, que será abordado no item 2.2.1.1. deste trabalho.

No artigo publicado por Chertow em 2007, são examinados projetos propostos pelo *US President's Council on Sustainable Development*, nos anos 90, em comparação a projetos auto-organizados. Como conclusão, a autora percebe que projetos auto-organizados no setor privado apresentam comprovadamente maior possibilidade de dar certo, pois as trocas surgem das necessidades do mercado e não são impostas por atores externos. Outra contribuição ao sucesso desses sistemas é a formação de conselhos de gerenciamento que visem acelerar os processos e aumentar o número de parceiros.

Entretanto, para Tanimoto (2004), independente do tipo de instituição que gerencie a SI (privada ou governamental), existem certas medidas capazes de proporcionar melhores resultados. São algumas delas: existência de um banco de dados de resíduos acessível ao público, credibilidade e engajamento dos parceiros, boa comunicação entre os atores envolvidos (empresas, governo, instituições acadêmicas, etc.), promoção de eventos de divulgação das conquistas alcançadas e incentivo a adesão de novos parceiros, flexibilidade na regulamentação ambiental, existência de

instituições de recuperação e tratamento (segregação, fracionamento, envasamento) dos principais subprodutos antes de sua disponibilização de acordo com o perfil do consumidor, entre outras.

Visto que resíduos podem ser reutilizados como matéria-prima em diversas tipologias industriais, de acordo com suas características, uma das maiores dificuldades encontradas na prática pela SI é a circulação de informações.

Para que os resíduos possam ser empregados na cadeia produtiva das diferentes tipologias industriais, é fundamental a criação de um sistema de informações que auxilie no gerenciamento e facilite a identificação de potenciais sinergias entre geradores e receptores (consumidores). Tais sistemas não necessitam de um espaço físico, podendo ser organizados na forma de bancos de dados nos quais as empresas participantes insiram suas informações como especificações dos subprodutos (seus principais componentes que podem viabilizar ou não seu reaproveitamento em outra empresa), quantidades geradas, frequência de geração (ou da necessidade do insumo), classificação e controle de entrada e saída de dados.

O sistema de dados pode ser utilizado desde simbioses que ocorram dentro de um mesmo distrito industrial, até simbioses que se estabeleçam entre empresas de diferentes regiões, desde que contenham um número mínimo de informações para funcionar como “vitrines”. A vantagem de bancos de dados abertos a novos parceiros é que os interessados podem acessar livremente o sistema via *homepage* (Tanimoto, 2004).

Como exemplos desses bancos, tem-se ferramentas como o FaST (*Facility Synergy Tool*), o DIET (*Designing Industrial Ecosystem*), o REaLiTy (*Regulatory, Economic and LogisticsTool*), desenvolvidos para US-EPA (Veiga, 2007).

No Brasil, tem-se como exemplo a criação de Bolsas de Resíduos por federações das indústrias estaduais, como as dos estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Pará, Amazonas (FIRJAN, 2014). No Rio de Janeiro, a Bolsa de Resíduos da FIRJAN, expunha a oferta e demanda por diferentes subprodutos, suas possíveis aplicações, quantidades geradas ou demandadas, periodicidade da geração (ou necessidade de alimentação) e padronização de códigos. Em uma tentativa de acesso ao Sistema no ano

de 2016 verificou-se que o mesmo encontra-se fora do ar para melhorias (FIRJAN, 2014).

De acordo com Tanimoto (2004), as federações de indústrias são receosas em aumentar sua participação e restringem-se a divulgação de informações, pois receiam que os resíduos ofertados não passem por tratamento adequado ou sejam manipulados de forma incorreta e recaia sobre elas alguma responsabilidade pelo destino dos mesmos. Tal fato dificulta a confiança e adesão de parceiros e o sucesso da ferramenta.

Ainda segundo Tanimoto (2004), a padronização da descrição de resíduos, de códigos e nomenclaturas específicos para cada um deles apresentados no banco de dados facilitam muito a criação de parcerias, pois auxilia os consumidores a localizar exatamente seus potenciais insumos.

Além disso, como será apresentado posteriormente no item 2.2.1.2., no exemplo do sistema desenvolvido para o PIE da Carolina do Norte, é interessante que os dados sejam georreferenciados para que os consumidores e geradores se localizem espacialmente e escolham seus parceiros estipulando as rotas possíveis (rodoviárias e ferroviárias) de acordo com distância e custo de transporte. A responsabilidade pela venda, manuseio e transporte são exclusivamente do gerador com o consumidor.

2.1.3.2. Formação de Parques Industriais Ecológicos e Gestão Compartilhada

Veiga (2007) desenvolveu em sua tese de doutorado uma metodologia para implementação de PIEs, tendo como base o Eco-Parque demarcado para o município de Paracambi, a partir do Programa Ecopolo do Governo do Estado do Rio de Janeiro, exposto posteriormente no item 2.2.2.

Para Veiga, quando se pensa em PIE, deve-se integrar as três esferas de desenvolvimento sustentável na sua implementação – econômica (indústrias), social (comunidade e governo) e ambiental – simultaneamente e com mesmo grau de importância. Sendo assim, cada uma das esferas permuta seus bens e serviços (trabalho, insumos e capital) com outros membros da comunidade e com participantes externos (consumidores e fornecedores).

Os benefícios econômicos e a maximização de lucros previstos às indústrias se devem a melhoria de sua imagem no mercado, conhecida como marketing verde; aumento de sua diversidade de consumidores, diante de seu acesso a outras camadas do mercado; aumento da receita, devido a venda de resíduos (subprodutos); redução do passivo ambiental; entre outros aspectos. O governo é motivado a participar do PIE, pois este garante maior cumprimento da legislação ambiental, aumento da base tributária e diminuição de danos ao meio ambiente gerados por processos industriais. Já a comunidade se beneficia pelo desenvolvimento local, decorrente estabelecimento do Eco-Parque, como aumento do número de empregos e diversificação dos negócios, educação e capacitação de recursos humanos, melhoria da qualidade de vida em decorrência do aumento de programas sociais. (Veiga, 2007).

Conforme proposto por Veiga (2007), para estabelecimento de um PIE são necessárias etapas de Planejamento, Projeto, Implantação, Operação e Gerenciamento, cujos principais elementos são: identificação dos fatores de localização, seleção do *mix* de indústrias, avaliação do ambiente político, das legislações e regulamentações locais; pesquisa de relacionamento entre comunidade local e o empreendimento; definição das fontes de financiamento e incentivos fiscais, disponibilidade de mão-de-obra (capacitação, custo), projeto urbano, projeto de infraestrutura flexível para adesão de novas tipologias industriais (viária e serviços de transporte, energia, água, estação de tratamento de efluentes), partes e serviços comuns, construção sustentável das instalações, ocupação e gestão do PIE.

Segundo Lowe (2001), para desenvolvimento e expansão dos PIEs, as principais providências que devem ser tomadas são:

- Seleção inicial de uma indústria âncora que desempenha um papel de liderança no Parque e a partir da qual outras tipologias industriais são selecionadas;
- Conscientização dos atores envolvidos dos benefícios econômicos, sociais e ambientais da SI. O autor destaca como formas de conscientização a realização de workshops, seminários, publicações;
- Seleção de um responsável interno (conselho formado por representantes dos diferentes setores) ou externo (órgãos governamentais, empresas terceirizadas, universidades) para gerenciamento do sistema e do processo de troca de resíduos,

formulando regulamentos internos (regras de conduta, procedimentos de desempenho, proposição de metas), garantindo a representação e o comprometimento dos integrantes; e administrando a adesão de novos participantes;

- Incentivo a formação de equipes para auxiliar no desenvolvimento do processo, ou seja, formação de um corpo técnico capaz de identificar possíveis sinergias entre geradores e receptores, facilitar o contato entre as indústrias;

- Caracterização do fluxo interno de energia, água e materiais;

- Obtenção e análise dos dados das indústrias parceiras (matéria-prima, resíduos, água, energia e demais insumos). Preenchimento do inventário de resíduos por parte das indústrias;

- Identificação das barreiras e desenvolvimento de estratégias para solucioná-las;

- Desenvolvimento de uma estratégia de planejamento que permita expandir as sinergias estabelecidas no PIE para uma região maior;

- Desenvolvimento de estratégias e fornecimento do apoio necessário (administrativo, legal, etc.) para que as indústrias consolidem acordos e parcerias;

- Monitoramento do processo, mapeamento das sinergias facilitando a identificação e localização física (GIS) das indústrias na região a partir da criação de uma Central de Gestão de Informações (CGI). Essa CGI pode ser organizada na forma de um banco de dados, no qual as empresas participantes insiram suas informações de geração, a especificação de seus resíduos, seu consumo de matérias-primas e insumos, suas localizações, entre outros dados para que possa haver interação com as demais;

- Definição de indicadores e metas de desempenho;

- Desenvolvimento de um sistema de informações gerenciais integrado que disponibilize aos participantes um *feedback* do projeto.

Veiga (2007) sugere como instalações e serviços comuns a um PIE: Central de gestão de informações (CGI); Estação de tratamento de efluentes (ETE); Gestão de resíduos: central de armazenamento e distribuição de resíduos; Central de armazenamento e distribuição de materiais comuns às indústrias; Central de reciclagem

e artesanato; Central de reciclagem de óleo e lubrificantes; Central de reciclagem de solventes; **Auditório e salas de reunião com fins educacionais, treinamento de pessoal, reuniões, conferências; Lanchonetes, restaurantes; Centro de saúde; Áreas destinadas à prática de esportes e lazer; Biblioteca; Creche para os filhos dos funcionários; Centro de emergência; e Centro administrativo voltado a atender as indústrias.** Estes serviços comuns podem ser financiados por fontes externas como agências internacionais (Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento - BIRD, Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID) e nacionais (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES).

Vale ressaltar que as instalações e serviços ressaltadas em negrito acima são propostas para PIEs formados por empresas colocalizadas, o que não faz parte do enfoque desta pesquisa.

Depois de selecionados, os gestores devem desenvolver estratégias e mecanismos para integração dos atores envolvidos (indústrias, gestores, instituições públicas e privadas, comunidade em geral) a fim de operacionalizar as parcerias entre eles. Além disso, a gestão deve considerar os interesses comuns a todos os setores envolvidos e também os interesses individuais de cada setor separadamente (Veiga, 2007). Estes interesses interferem diretamente na velocidade de implantação de um PIE, visto que sua colaboração é o ponto principal na formação e manutenção de parcerias.

Em citação a Schlarb (2002), Veiga (2007) aponta que não existe uma regra para o planejamento de todo e qualquer PIE, o processo é flexível, pois cada caso possui suas particularidades. A metodologia deve se adequar à demanda dos diferentes atores envolvidos, às características e à cultura do local e da comunidade que receberá o Parque.

O sucesso de um PIE é fortemente influenciado pela participação da comunidade desde a escolha do local de implantação do Parque, o compartilhamento de experiências, até o auxílio na criação de uma nova consciência político-ambiental da administração pública local, que incentive a flexibilização da legislação e a adoção de incentivos fiscais que proporcionem a formação do Parque e o uso de tecnologias sustentáveis.

O sucesso de um PIE também depende da participação de instituições governamentais ambientais e alfandegárias. As instituições ambientais forçam as empresas a reconhecer e pagar as externalidades ligadas a seus subprodutos, estabelecer padrões ambientais que devem ser respeitados pelas empresas, possibilitar a redução de controle burocrático, a partir do momento que definem resíduos como subprodutos. Já as instituições alfandegárias forçam as empresas a reduzir impostos para subprodutos que substituam matérias-primas e a flexibilizar o fluxo de subprodutos entre diferentes localidades.

Conforme apresentado anteriormente e descrito no Estudo de Caso nos próximos capítulos, PIEs não necessariamente precisam se desenvolver entre indústrias colocalizadas.

2.1.3.3. Barreiras ao Desenvolvimento de Simbioses Industriais e Parques Industriais Ecológicos

Como em todos os tipos de projetos e empreendimentos, há sempre barreiras e resistências encontradas para que haja sequência em seu projeto e sua execução. No caso dos PIEs, não é diferente.

Como principais barreiras identificadas à formação de parcerias, encontram-se a falta de comunicação e confiança entre os representantes das indústrias locais e regionais, a carência de dados sobre os resíduos que podem ser reutilizados, os baixos custos para disposição final dos mesmos, as distâncias entre as empresas e a ausência de um governo representativo. Tais fatores dificultam a divulgação e desenvolvimento dos conceitos de SI e PIE.

Geralmente, a falta de confiança e resistência à troca de informações entre as empresas ocorrem por medo de que estas possam ser usadas contra elas pelas autoridades reguladoras (Sark et al., 2011).

Para Moraes (2007), as empresas devem ser menos restritivas quanto à disponibilização de informações necessárias para elaboração de projetos conjuntos e o governo deve atuar constantemente na fase de planejamento dos parques industriais, em

função da sua capacidade de fomentar e influenciar o recrutamento de indústrias, auxiliando a formação da configuração industrial mais desejada.

As políticas governamentais devem agir como facilitadoras das simbioses industriais, fornecendo apoio, coordenação e infraestrutura às indústrias. Como visto anteriormente no caso brasileiro, o setor público deixou de participar de projetos devido a mudanças no cenário político, fazendo com que o prosseguimento do Programa Rio-Ecopolo não fosse possível. Nesse sentido, a ideia de gestão ambiental corporativa não pode ser implementada, já que o setor público não mais se fez presente, enfraquecendo o desenvolvimento de PIEs.

Para o surgimento de uma nova consciência político-ambiental e rompimento de barreiras culturais, os empresários e governantes devem reconhecer que os recursos naturais são sistemas vivos que estão se extinguindo, que as tecnologias sustentáveis são lucrativas, sobre a importância da desvinculação do modelo de desenvolvimento capitalista atual e sobre a necessidade de adoção de leis de incentivos fiscais para as empresas se inter-relacionem (Moraes, 2007).

2.2. Algumas Experiências de Simbioses Industriais e Parques Industriais Ecológicos

2.2.1. Experiências Internacionais

Toda a literatura internacional destaca como exemplo clássico de implantação de EI o PIE de Kalundborg, na Dinamarca, como o caso mais bem-sucedido (ex. Lowe, 1997; Lambert & Boons, 2002; Chertow, 2004; Heeres *et al.*, 2004; Oh *et al.*, 2005; Saikku, 2006; Veiga, 2007; Veiga & Magrini, 2009; Behera *et al.*, 2012). Sua formação teve início na década de 70, a partir da cooperação de cinco indústrias locais e do governo municipal, e hoje conta com aproximadamente 30 simbioses e diversas empresas envolvidas (Gertler, 1995; Chertow, 2004).

Além de Kalundborg, outros casos de PIEs bem sucedidos podem ser encontrados tanto em países desenvolvidos, quanto em países em desenvolvimento (Chae *et al.*, 2010). Como no Reino Unido, onde a aplicação inicial de redes de

simbiose industrial na região dos estuários de Mersy e Humber possibilitou a implementação do Programa Nacional de Simbiose Industrial (NISP, sigla em inglês) (Mirata, 2012). Na Austrália, as companhias de processamento de minerais, pesquisadores e agências governamentais fundaram o Centro de Processamento de Recursos Sustentáveis (CPRS), que empreende pesquisas a fim de facilitar o processo de identificação e avaliação de potenciais oportunidades de estabelecimento de sinergias, e dá assistência às indústrias com estudos de viabilidade e implementação de projetos. Tais ações deram suporte ao desenvolvimento e implementação de dois PIEs nas suas duas maiores regiões industriais de processamento mineral: Kwinana e Gladstone (van Beers et *al.*, 2007).

Já na Holanda foram introduzidos e disseminados projetos de simbiose industrial no Complexo Industrial e Portuário de Rotterdam, sendo estes precursores de projetos de ecologia industrial no país (Boons & Bass, 2007).

Chertow & Lombordi (2005) quantificaram substanciais benefícios econômicos e ambientais para empresas participantes de simbiose industrial colocalizadas em Porto Rico. Na Ásia, os PIEs são vistos como maneira de superar os danos ambientais e, ao mesmo tempo, melhorar os aspectos econômicos e sociais da indústria e da comunidade. Zhu e colaboradores (2007) apresentaram as simbioses industriais do Grupo Guitang, na China, a partir de subprodutos de uma empresa de refino de açúcar: melado e bagaço. Porém, o país apresenta, pelo menos, 60 outros parques implementados.

Além disso, até 2007, nos Estados Unidos e no Canadá existiam 43 PIEs em desenvolvimento e 17 em pleno funcionamento, com seus projetos concluídos (Veiga, 2007).

Dentro do modelo sugerido por Chertow (2000), o presente estudo dará enfoque a sistemas de simbiose industrial entre indústrias não localizadas em um mesmo parque industrial, ou organizadas virtualmente, apresentados no Capítulo 4.

Sendo assim foram selecionados dois PIEs internacionais para exemplificação: PIE Kalundborg, estabelecido entre indústrias não localizadas em um mesmo parque industrial, e PIE Carolina do Norte, organizado virtualmente.

2.2.1.1. A Simbiose Industrial de Kalundborg

O Parque Industrial Ecológico de Kalundborg, na Dinamarca, foi escolhido como um dos estudos de caso deste trabalho não apenas por ser referência na literatura especializada, mas por contar como um exemplo de PIE estabelecido entre indústrias não localizadas em um mesmo parque industrial, mas sim localizadas dentro do mesmo município.

Kalundborg é um município litorâneo da Dinamarca, localizado a 135 km de Copenhague. O município tem área de 604 km², 160 km de litoral e população de 48.657 habitantes, dos quais 16.303 vivem na cidade de Kalundborg.

A Simbiose de Kalundborg não apresentou planejamento inicial, o sistema se desenvolveu gradualmente a partir da auto-organização do setor privado, que visava redução de custos operacionais, aumento de renda, expansão dos negócios, garantia de acesso em longo prazo à água e energia, e atendimento à legislação ambiental local, através do uso econômico de seus coprodutos (Gertler, 1995; Chertow, 2007). O motivador para início da cooperação entre as indústrias foi a escassez de água subterrânea e a necessidade de um fonte de água superficial.

As simbioses tiveram início em 1961, quando foi encomendada a Refinaria Statoil para a região. Como a refinaria necessitava de abastecimento de água, dutos oriundos do Lago Tisso (localizado a aproximadamente 20 km da cidade) foram instalados, conservando assim as reservas subterrâneas. Essa rede de dutos foi expandida duas vezes a fim de abastecer, em 1973, a termelétrica Asnaes e, em 1987, a empresa Novo Nordisk, que anteriormente fazia uso de águas subterrâneas. Vale destacar que a construção dos dutos ocorreu através de uma parceria entre a prefeitura e a refinaria, criando o precedente de colaboração entre os setores público e privado (Erkman, 2001).

Em 1972, uma empresa sueca produtora de gesso chamada Gyprok se instalou na cidade a fim de fazer uso do gás natural proveniente da refinaria, já que o seu uso era mais barato do que o de óleo para secagem do gesso.

Com o tempo, novas sinergias foram criadas, algumas foram interrompidas e a simbiose se mantém até hoje, num total de 30 relações ativas (Site oficial do PIE Kalundborg, 2014). Estas relações podem ser melhor visualizadas na Figura 4.

Atualmente, nove indústrias, públicas e privadas, são consideradas como principais nesta simbiose. São estas: a termelétrica Asnaes, a refinaria Statoil (maior refinaria de óleo da região báltica), Novo Nordisk (maior produtora de insulina), Novozymes (maior produtora de enzimas), RGS90 (empresa voltada a remediação do solo), Gyproc (produtora de placas de gesso para construção civil), Kara/Novoren (responsável por gestão de resíduos), Kalundborg Forsyning A/S (maior empresa de tratamento de esgoto do norte da Europa), além do município de Kalundborg (Magrini & Elabras-Veiga, 2012). A Figura 5 mostra a distribuição espacial das indústrias pelo território.

Em 1996, foi criado no parque industrial de Kalundborg o *Symbiosis Institute*, com o objetivo de gerenciar a simbiose, difundir sua experiência, e contribuir para a identificação de novas áreas potenciais de cooperação (Domenech & Davies, 2011).

Os benefícios provenientes dos intercâmbios implementados são estimados em cerca de US\$ 12 a US\$ 15 milhões de dólares por ano (Heeres et al., 2004). Além disso, até 1998 os investimentos feitos nos 18 projetos da região tiveram um tempo médio de retorno inferior a 5 anos, dado um investimento inicial de US\$ 75 milhões (Sark et al., 2011).

Hoje a emissão de gases de efeito estufa do PIE corresponde a aproximadamente 9% do total de emissões da Dinamarca, de acordo com dados fornecidos através de contato por e-mail com Elisabeth Renders, coordenadora de projetos do Grupo Symbiosis, responsável pela gestão do PIE de Kalundborg. Através deste contato foi possível saber que a redução anual das emissões pode chegar a 275.000 toneladas.

Mesmo não havendo planejamento inicial, este arranjo acabou por tornar-se a maior implementação de simbiose industrial do mundo e hoje é visto como o protótipo de aplicação da Ecologia Industrial (Gertler, 1995).

O sucesso de Kalundborg ocorreu devido à contribuição de diversos fatores como: a diversidade de empresas, a boa relação entre as mesmas, sua proximidade

geográfica, acordos comerciais, atores cooperando voluntariamente (auto-organização do setor privado), a necessidade de um desenvolvimento mais sustentável na região, o apoio do governo local e a criação do Symbiosis Institute (Cote & Cohen-Rosenthal, 1998; Chertow, 2007). Mais informações sobre o PIE de Kalundborg podem ser encontradas no site oficial do parque: <http://www.symbiosis.dk/>.

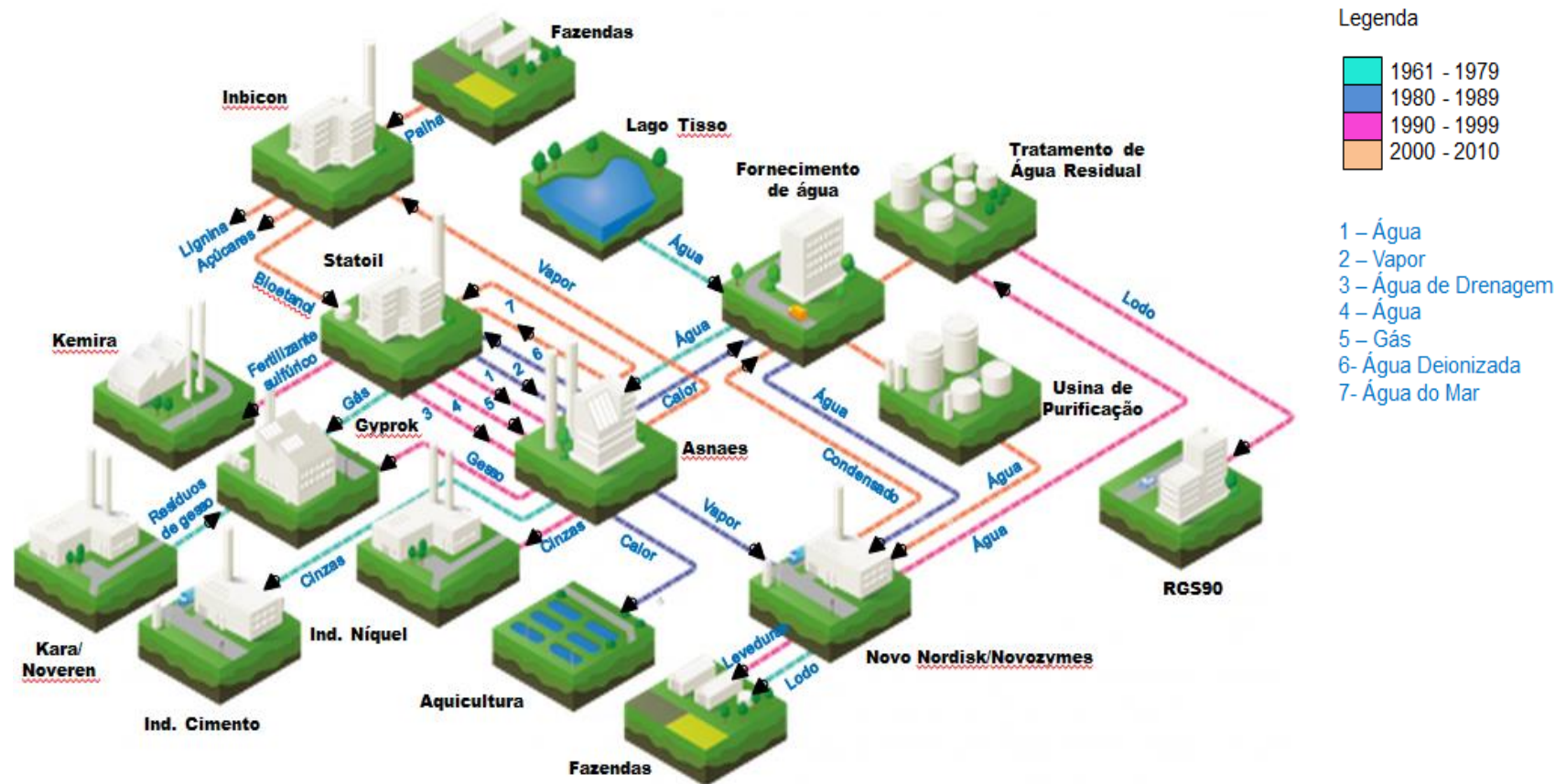


Figura 4 - Esquema mostrando as simbioses presentes atualmente no PEI de Kalundborg. Fonte: Elaboração Própria.



Figura 5 - Mapa de distribuição espacial das indústrias pela cidade de Kalundborg. Fonte: Site oficial do PIE: <http://www.symbiosis.dk/>.

2.2.1.2. O Parque Industrial Ecológico Triangle J. / Carolina do Norte - EUA

O projeto do PIE Virtual da Carolina do Norte surgiu de uma parceria do Estado da Carolina do Norte com o Triangle J Council of Governments. O projeto foi patrocinado pela US-EPA em 1997, para identificação de potenciais intercâmbios entre indústrias de 6 distritos da Carolina do Norte – EUA.

Ao todo, 182 indústrias e prestadoras de serviços, representando 108 diferentes segmentos de negócios, aderiram ao programa e forneceram informações sobre seus fluxos de entradas e saídas através de questionários. Para auxiliar no gerenciamento das informações e identificar os fluxos de subprodutos entre as empresas foi utilizado um banco de dados informatizado, contendo a classificação desses subprodutos, quantidade, frequência de produção e principais componentes. Neste modelo de banco de dados aplicado no Triangle J., além de codificar todos os subprodutos gerados pelas indústrias, ele localiza as empresas geradoras e os potenciais compradores, disponibilizando através do sistema GIS (*Global Information System*) as melhores rotas de transporte (KINCAID, 1999).

O fornecimento de informações por parte das empresas se deu através de documentos oficiais (inventário de resíduos sólidos, balanço hídrico, etc.), de 1997 a 1999, requeridos pelos órgãos ambientais e disponíveis na internet. De acordo com o relatório final do projeto (KINCAID, 1999), dois terços dos inquiridos já possuíam alguma experiência em reutilização e 36% destes já estavam envolvidos em atividades além de simples reciclagem (KINCAID, 2005 *apud* Chertow, 2007).

Este estudo contou com o apoio de três universidades (Duke University, North Caroline State University, University of North Caroline e Chapel Hill), além de organizações de desenvolvimento econômico governamentais e privadas. A participação de instituições acadêmicas traz um maior planejamento e uma visão mais abrangente do sistema.

O estudo teve duração de dois anos até sua real implementação e foram identificadas potenciais sinergias para 48% dos parceiros que aderiram à simbiose. Tais sinergias envolviam os seguintes subprodutos: acetona, carvão, agente dissecante, ácido clorídrico, metanol, material de empacotamento, *bags* de plásticos, pó de serra, soda cáustica e madeira (KINCAID, 1999).

Foi realizada na pesquisa, e é muito importante para implantação de um PIE Virtual, a análise da infraestrutura local a fim de minimizar custos e detectar as alternativas oferecidas por cada região.

Para que as empresas pudessem conhecer melhor a proposta do PIE e seus possíveis parceiros, foram realizados seminários de discussão. Além disso, formou-se um conselho com representantes das entidades envolvidas para acompanhar a implantação do projeto (Tanimoto, 2004).

2.2.2. A Experiência da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

O Programa Rio Ecopolo, liderado pela antiga Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), atual Instituto Estadual do Ambiente (INEA), foi a primeira iniciativa do estado do Rio de Janeiro e do país de institucionalizar oficialmente Parques Industriais Ecológicos que, neste caso, foram denominados de “Ecopolos” (Fragomeni, 2005). Esta iniciativa ocorreu através do Decreto nº

31.339/2002 que institui o Programa de Fomento ao Desenvolvimento Industrial. Como primeiro passo, o Programa identificou empresas interessadas em voluntariamente a ele. A identificação era feita aleatoriamente em áreas com alta concentração industrial.

Segundo Fragomeni (2005), o sucesso da mobilização das empresas na fase inicial do Programa ocorreu devido ao apoio dado pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), a qual é um agente bastante importante na articulação industrial no estado.

Assim, foram criados, no ano de 2002, quatro Ecopolos: o Distrito Industrial de Santa Cruz, o Distrito Industrial de Campos Elíseos, Fazenda Botafogo e Sul Fluminense, sendo este último não pertence à Região Metropolitana (Fragomeni, 2005). Além disso, criou-se o Ecopolo de Paracambi, resultado de uma parceria entre os governos municipal e estadual, ao contrário dos demais que foram instituídos pelo governo do estado em parceria com a iniciativa privada (Veiga, 2007).

Entretanto, o Programa não foi adiante devido à descontinuidade do governo e à inexistência de trabalho cooperativo, seja entre o setor público, entre este e as indústrias ou indústria-indústria, o qual é de suma importância para viabilizar um PIE (Fragomeni, 2005).

Em 2005, outra iniciativa que surgiu no intuito de implementar Parques Industriais Ecológicos no Brasil veio a partir de um estudo de novas propostas de zoneamento industrial para a Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, encomendado pelo governo do estado e realizado numa parceria entre COPPE-UFRJ-IBAM.

No estudo, foram realizados diagnósticos ambientais, urbanísticos e socioeconômicos de todas as zonas industriais do Estado. A compatibilização destes três gerou o Diagnóstico Consolidado das Zonas Industriais da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que forneceu classificações específicas, como perspectivas de expansão a cada zona industrial. Estas classificações serviram como base para recomendações de uma reconfiguração do zoneamento industrial na região considerando três aspectos: “a dinâmica internacional da localização industrial, os conceitos de Ecologia Industrial e de Parques Eco-industriais, e as tendências e perspectivas da gestão ambiental” (COPPE-UFRJ-IBAM, 2005).

Mais uma vez, devido a mudanças de governo, não foi dada continuidade ao projeto, assim como ocorreu dois anos depois com um projeto elaborado por Veiga (2007) para implementação do PIE de Paracambi.

Além disso, pode-se citar outras iniciativas, como a parceria que a Federação de Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) estabeleceu com um programa inglês chamado Nexus, que funciona como uma bolsa de resíduos, a fim de incentivar trocas entre suas indústrias. Ademais, existem outros esforços, como abordados na Tese de Mestrado de Armando Tanimoto (2004), que apresenta propostas de sinergias industriais dentro do Distrito Industrial de Camaçari, na Bahia.

Entretanto, os PIEs permanecem como forte alternativa para grandes empreendimentos vislumbrados para o Estado, como o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ). Esta alternativa deve ser considerada devido à crescente popularização e consequente conscientização a respeito dos conceitos de sustentabilidade, gestão compartilhada e Ecologia Industrial.

Capítulo 3 – ESTUDO DE CASO

3.1. A Indústria do Petróleo Brasileira e o Estado do Rio de Janeiro

A indústria do petróleo e seus derivados possui grande importância no cenário econômico mundial, sendo imprescindível para o desenvolvimento, visto que o petróleo ainda é considerado o principal combustível e utilizado como matéria-prima para produção de diversos produtos.

O crescimento da demanda por energia e a expectativa de que a indústria petrolífera nacional seja capaz de suprir parte dela obrigou a Petrobras (principal investidora do setor) a aumentar seus investimentos no refino e na produção de derivados.

Entretanto, paralelamente, nos dias atuais (ano de 2016), há grande oferta de petróleo no mercado internacional devido ao grande aumento de produção nos Estados Unidos de 2010 a 2015 e a recusa dos integrantes da OPEP – Organização de Países Exportadores de Petróleo – em reduzir a sua produção (Almeida, 2015). Além disso, o setor energético mundial tem passado por uma transição na demanda devido à inserção cada vez mais forte de fontes renováveis de energia e das restrições ao consumo de combustíveis fósseis em combate ao aquecimento global.

O atual contexto econômico do setor petrolífero nacional não é muito favorável devido à queda de preços do petróleo e o escândalo de corrupção envolvendo a Petrobras, porém é preciso que uma política setorial reforce a necessidade do cumprimento das metas de produção de petróleo e gás já estabelecidas e contratadas pelas empresas (Almeida, 2015).

Neste sentido, para viabilizar as reduções significativas de custo do barril de petróleo e o aumento dos investimentos em produção (e exploração do Pré-sal), é fundamental que o Brasil repense em sua atual política de preços de derivados de petróleo, a fim de se alinhar com o mercado internacional e não perder todos os investimentos já realizados no setor. Ademais, as empresas devem buscar novas estratégias tecnológicas e econômicas para redução de custos e crescimento no mercado.

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2012), além de incentivos fiscais que visem o desenvolvimento sustentável, as empresas de óleo e gás podem encontrar benefícios econômicos, sociais e financeiros com a inclusão do gerenciamento de resíduos como uma das prioridades de suas operações e decisões, impulsionadas pela crescente preocupação da sociedade com a preservação ambiental.

No Brasil, atualmente, existem 13 refinarias, 3 unidades de fabricação de fertilizantes nitrogenados a partir de gás natural, 1 unidade de industrialização do xisto, pertencentes à Petrobras, além de 4 refinarias de iniciativa privada (Greco & Romão, 2012).

A maioria das refinarias localiza-se próxima aos pontos produtores de petróleo, das cidades mais industrializadas e dos centros mais populosos. Isso ocorre por estratégia de redução de custos com transporte do produtor ao consumidor e pode ser observado na região sudeste do país, que por ser a região mais industrializada, populosa e com os estados que mais produzem petróleo (Rio de Janeiro e Espírito Santo), possui grande concentração de refinarias (8 dentre as 17 espalhadas pelo território nacional, sem contar com o COMPERJ) (Francisco, 2016).

As refinarias não diferem apenas em relação a suas complexidades tecnológicas, mas também em relação às matérias-primas processadas e aos mercados a que se destinam atender.

Conforme citado anteriormente e apresentado na Figura 6, na Região Sudeste estão localizadas 8 das 17 refinarias encontradas no país, são elas: Refinaria de Capuava (Recap - SP); Refinaria de Paulínia (Replan - SP) – a maior do país, Refinaria Henrique Lage (Revap - SP), Refinaria Presidente Bernardes (Rbpc - SP), Refinaria Petróleo Ltda. (UNIVEN – SP), Refinaria Gabriel Passos (Regap - MG), Refinaria Duque de Caxias (Reduc - RJ) e Refinaria de Petróleos de Manguinhos S.A. (Rpdm - RJ).

Na região sul encontram-se 3 refinarias, 1 Unidade de Industrialização de Xisto e 1 Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados: Refinaria Alberto Pasqualini (Refap - RS), Refinaria de Petróleo Ipiranga S.A. (Rpisa - RS), Refinaria Presidente Getúlio Vargas (Repar - PR), a Unidade de Industrialização do Xisto - SIX (PR), e a Fábrica de Fertilizantes - FAFEN (PR). No nordeste localizam-se a Refinaria Lubrificantes do

Nordeste (Lubnor - CE), as Refinarias Landulpho Alves (Relan) e DAX OIL S.A. em Camaçari – BA, a Refinaria Abreu de Lima (RNEST - PE), a Refinaria Potiguar Clara Camarão (RPCC – RN). A região Nordeste também conta com 2 Fábricas de Fertilizantes Nitrogenados da Petrobras (FAFEN – SE e BA). Por fim, na região Norte encontra-se a Refinaria de Manaus (Reman - AM) (Greco & Romão, 2012).

Vale lembrar que, das 17 refinarias, somente quatro não são estatais: Refinaria de Petróleos de Manguinhos S.A., Refinaria de Petróleo Ipiranga S.A., a DAX OIL S.A. e a Refinaria Petróleo Ltda.

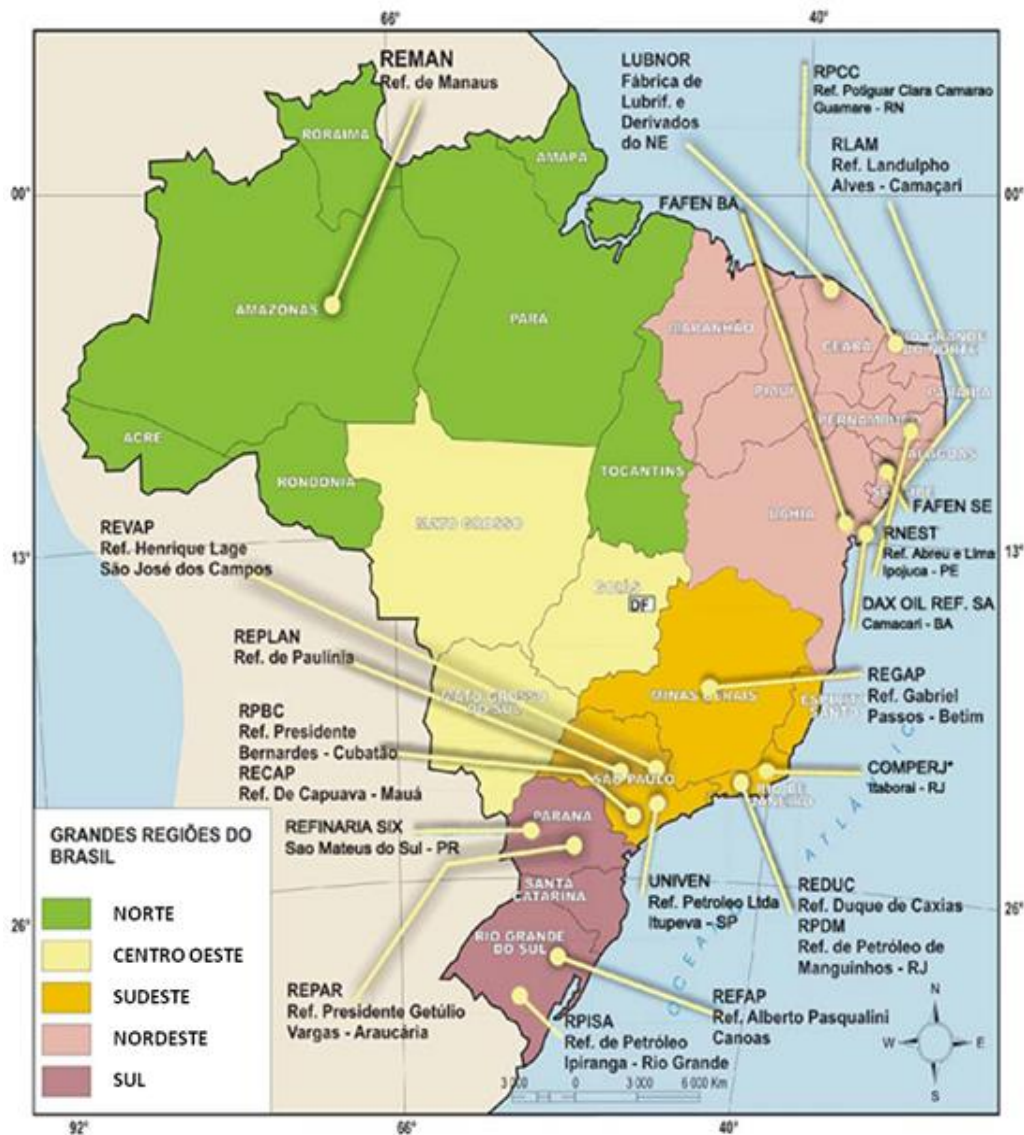


Figura 6 - Refinarias, unidades de fabricação de fertilizantes nitrogenados e unidade de industrialização do xisto presentes no Brasil. Fonte: Greco & Romão (2012).

O Brasil possui apenas 04 polos petroquímicos: o primeiro a ser estabelecido foi a Petroquímica União (SP) (que posteriormente passou a se chamar Polo de Capuava), seguido do Polo Petroquímico de Camaçari (BA), do Polo Petroquímico do Sul – Copesul (RS), e do Polo Rio Polímeros (RJ). Todos possuem estruturas societárias de empresas privadas (Tavares, 2005; Braskem, 2016).

O Estado do Rio de Janeiro apresenta a maior reserva de petróleo do Brasil, equivalente a mais de 80% da produção nacional de petróleo. Sendo assim, a cadeia petrolífera do estado é uma das grandes responsáveis por sua segunda posição no ranking nacional do PIB, R\$209 bilhões, correspondendo a 16,6% do PIB brasileiro (IBGE, 2016). Devido a essa importante característica do Estado, grandes investimentos são realizados para incentivo ao crescimento do setor petrolífero e diminuição da dependência da exportação de insumos pelo mesmo.

Dentre estes investimentos, está o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro - COMPERJ, o maior empreendimento individual da história da Petrobras, anunciado ao público pelo ex-Presidente Luiz Inácio Lula da Silva em março de 2006 e que, de forma pioneira no Brasil, visava integrar operações de refino com a produção petroquímica (Concremat, 2007 (1)). Com isso, o país reduziria a importação de matéria-prima petroquímica e otimizaria o aproveitamento da oferta de petróleo pesado e se mostra como uma importante alternativa econômica ao país em casos de escassez de nafta petroquímica e de gás natural.

3.2. Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro - COMPERJ

O projeto inicial do Complexo, incluído no Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal, compreende a construção de um complexo industrial de refino de petróleo e produção de petroquímicos básicos e resinas plásticas.

Constitui um empreendimento implantado em nova área física, onde não havia anteriormente qualquer instalação de apoio. Desta forma, compreende não só as instalações para processamento da carga de petróleo bruto como também toda a infraestrutura necessária para tal, incluindo desde uma central de utilidades,

terraplenagem até as estradas de acesso, linhas de transmissão elétrica, adutoras, emissários, oleodutos e gasodutos.

Segundo o RIMA do empreendimento (2007), a decisão de implantação do mesmo no Estado do Rio de Janeiro se deu graças à sua proximidade a fonte de matéria-prima – o petróleo Marlim, ao fácil acesso aos principais mercados consumidores de produtos de segunda geração – São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, a disponibilidade de infraestrutura como terminais portuários e malha rodoviária e ferroviária, a proximidade de centros de pesquisa (em referência ao CENPES – Centro de Pesquisa Leopoldo Miguez de Mello responsável pelo aperfeiçoamento das tecnologias adotadas no COMPERJ).

Ocupa uma área de 45 km² no distrito de Porto das Caixas, no município de Itaboraí-RJ, nos limites com os municípios de Cachoeiras de Macacu e Guapimirim (Figura 7) – sendo 11 km destinados às instalações industriais. Conta também com instalações adicionais em outros municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, como São Gonçalo (Concremat, 2007 (1)).

A localização do empreendimento no distrito de Porto das Caixas, em uma área com estrutura fundiária composta por fazendas e sítios que distam cerca de 15 km do COMPERJ, favoreceu sua escolha como receptor do empreendimento graças a sua baixa concentração de poluentes, pois sua geografia contribui para dispersão dos mesmos; dispor de infraestrutura logística adequada, reforçada pela possibilidade de construção do Arco Metropolitano; possui área disponível para uma expansão do Complexo; dispor de mão-de-obra carente de oportunidades, entre outros.

O empreendimento visava produção, principalmente, de produtos nobres de segunda geração petroquímica: polietileno, polipropileno, ácido tereftálico, poli(tereftalato de etileno), benzeno, etilenoglicol e estireno, a partir de petróleo nacional do Campo de Marlim (região norte do estado do Rio de Janeiro) (Concremat, 2007 (1)).

Novas instalações foram propostas posteriormente a apresentação do projeto inicial do Complexo, as Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN) e Unidades de Óleos Básicos Lubrificantes (ULUB).



Figura 7 - Localização geográfica do município de Itaboraí e de seus municípios vizinhos.
Fonte: Concremat, 2007 (2).

Como o petróleo do Brasil é mais pesado (apresenta menor grau de API (*American Petroleum Institute*) – escala que mede a densidade dos líquidos derivados do petróleo), o país teve de desenvolver uma tecnologia própria para operações e obtenção de derivados, a fim de reduzir sua dependência de importação e aumentar seus lucros (Dantas Neto e Gurgel *apud* Sena, 2013), visto que as refinarias brasileiras até então não possuíam capacidade de processar o petróleo nacional.

A matéria-prima utilizada no COMPERJ será o petróleo pesado Marlim, proveniente da Bacia de Campos, e tal utilização tornou-se possível graças a um estudo do Centro de Pesquisas Leopoldo Miguez de Mello (CENPES) que desenvolveu uma nova tecnologia para processamento de petróleo pesado. Essa nova tecnologia representará uma economia de, no mínimo, R\$ 4 bilhões por ano (Concremat, 2007 (1)).

Atualmente a produção de petroquímicos é feita através do processamento da nafta, em centrais localizadas em três polos do país: Polo Petroquímico de Camaçari – Braskem (BA), Polo Petroquímico de São Paulo - PQU (SP) e Polo Petroquímico do Sul – Copesul (RS). Além disso, no Polo Gás Químico do Rio de Janeiro – Riopol – os petroquímicos são extraídos do processamento do gás natural.

3.2.1. Configuração Original do COMPERJ e suas modificações

De acordo com o Relatório de Impactos Ambientais do COMPERJ (Concremat, 2007(1)), o projeto original abrigaria, em uma mesma planta industrial, designada pela Lei do Plano Diretor do Município como uma Zona de Uso Exclusivamente Industrial (ZEI): uma Unidade de Refino e primeira geração, ou Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB); um conjunto de unidades de segunda geração, ou Unidades Petroquímicas Associadas (UPA's); uma Central de Utilidades (UTIL), responsável pelo fornecimento de água (tratamento e reuso), vapor e energia elétrica necessários a operação de todo o Complexo; e Unidades Auxiliares de Processos (AUX's), geradoras de hidrogênio e removedoras de contaminantes, como enxofre, das correntes líquidas e gasosas, além de tratarem águas ácidas, gás liquefeito e combustíveis (FIRJAN, 2010) (

Figura 8).

Além disso, o projeto também contava com dutovias de transferências internas e infraestrutura civil de obras de drenagem e pavimentação, previa a instalação de uma Central de Escoamentos de Produtos Líquidos, a fim de otimizar a distribuição dos produtos entre Itaboraí e terminais de carregamento da Baía de Guanabara; e de um Centro de Integração para capacitação de mão de obra, ambos localizados em São Gonçalo (FIRJAN, 2010).

Dessa forma, o petróleo proveniente da Bacia de Campos (Marlim) chegaria ao Complexo através de dutos. Primeiramente seria transformado em produtos petroquímicos básicos e, na segunda fase de produção, estes produtos se tornariam resinas termoplásticas. Vale ressaltar que cerca de 40% da produção da UPB seria comercializada diretamente, inclusive para o mercado externo e em uma terceira etapa fora do COMPERJ, as resinas termoplásticas virariam bens de consumo (Concremat, 2007(1); FIRJAN-FGV, 2008).

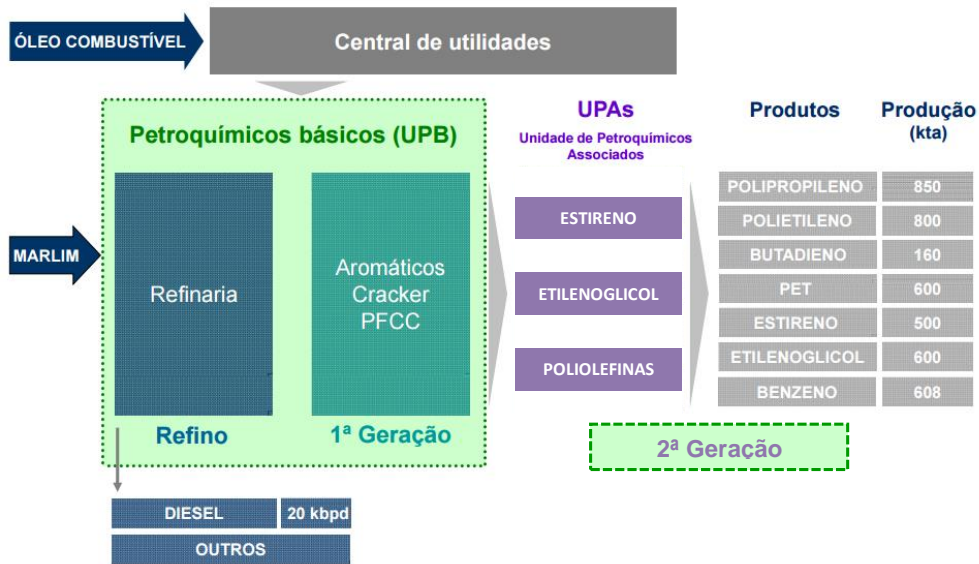


Figura 8 - Unidades produtivas do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, sua geração de produtos e respectivas quantidades. Legenda: kbpd é a unidade em inglês para mil barris por dia. Fonte: Adaptado de Apape, 2013.

Inicialmente, o investimento direcionado ao Complexo Petroquímico equivalia a aproximadamente US\$6,5 bilhões (incluindo a infraestrutura externa associada) e sua unidade de destilação possuiria a capacidade de processar 20.000 toneladas por dia de óleo pesado, o equivalente a 150 mil barris diários de petróleo pesado proveniente da Bacia de Campos (Campo de Marlim – região norte do Estado do Rio de Janeiro).

No início de 2010, a Petrobrás decidiu duplicar a capacidade de refino para, ao invés de um, dois trens de refino (conjuntos de unidades de refino), conciliando a produção de combustíveis e petroquímicos, capazes de destilar 165 mil barris de petróleo por dia, cada um (Ordoñez, 2011). Isso se deve ao forte crescimento da demanda de diesel e querosene de aviação (QAV), ao desenvolvimento das indústrias, da atividade agrícola (impactando diretamente no transporte de carga) e do maior número de pessoas com acesso ao transporte aéreo.

Outra mudança no projeto inicial foi o anúncio, no início de 2011, que o COMPERJ passaria a utilizar gás natural proveniente do Pré-sal como combustível e matéria-prima (Ordoñez e Rosa, 2011).

No entanto, devido ao encarecimento das obras, a queda do preço do barril de petróleo, a Operação Lava Jato envolvendo a Petrobras e diversas construtoras e empreiteiras, o projeto inicial sofreu algumas alterações com o passar dos anos (Contato pessoal com Sr. Luiz Fernando Guimarães, Secretário Municipal de Desenvolvimento Econômico de Itaboraí, em setembro de 2014).

Atualmente, o objetivo estratégico do COMPERJ é expandir a capacidade de refino da Petrobras e atender à crescente demanda de óleo diesel, nafta petroquímica, querosene de aviação (QAV), coque, gás de cozinha (GLP) e óleo combustível, deixando para investimentos futuros a implementação das unidades petroquímicas (Apape, 2013).

A Figura 9 apresenta a nova configuração do COMPERJ após as modificações supracitadas.

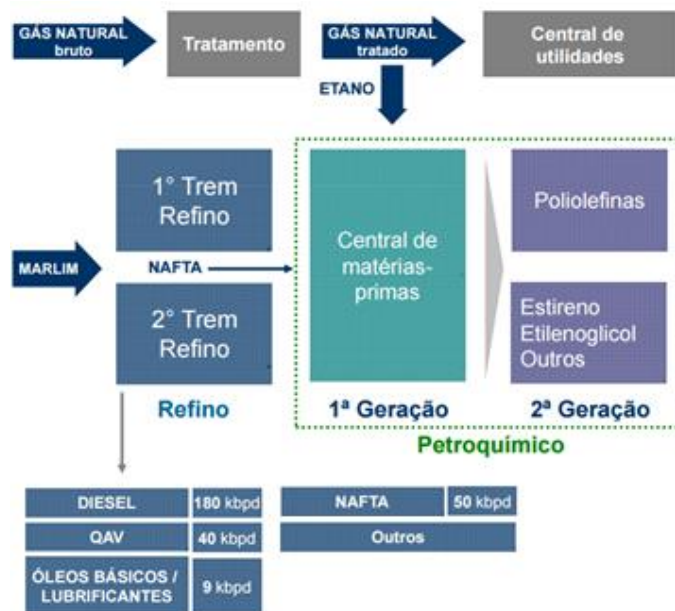


Figura 9 - Nova configuração do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro após acréscimo de novas unidades produtivas. Legenda: kbpd é a unidade em inglês para mil barris por dia. Fonte: Adaptado de Apape, 2013.

3.2.2. Situação Atual do Empreendimento

No dia 15 de junho de 2013, uma matéria no Portal do Jornal Estadão (Magnabosco e Tereza, 2013) informou que a Petrobras incorporou as quatro

subsidiárias constituídas para abrigar seus sócios no investimento do COMPERJ: COMPERJ Poliolefinas (que teria como parceira a Braskem), COMERJ MEG (em parceria com a Oxiten), COMPERJ Participações e COMPERJ Estirênicos.

Tal incorporação teria ocorrido, de acordo com a Petrobras, por uma questão de “simplificação da estrutura societária e reorganização do portfólio de participações petroquímicas” (Magnabosco e Tereza, 2013). Porém, de acordo com a matéria, a estatal passava por dificuldades na atração de sócios privados para as diversas etapas da obra.

À vista disso, o empreendimento, com inauguração prevista para o ano 2016, passou a contar apenas com um trem de refino, capaz de processar 165 mil barris de petróleo por dia. A segunda refinaria e as unidades de primeira e segunda geração petroquímica ficaram em possibilidades de projetos futuros.

Porém, devido a restrições de caixa da Petrobras, as obras do primeiro trem de refino foram suspensas no final de 2014 e, antes que fossem paralisadas, já haviam consumido aproximadamente US\$13,5 bilhões, mais que o dobro do investimento previsto inicialmente, apenas para o primeiro trem de refino (Infográficos O Globo, 2014).

A única obra mantida no Plano de Negócios e Gestão 2015-2019 da Petrobras foi a de execução da Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN), prevista para início de operação em 2016 (prazo adiado para 2017). Contudo, a mesma foi paralisada em outubro de 2015, devido aos efeitos no câmbio e no mercado econômico provenientes da crise econômica que o Brasil vem enfrentando; e aos recentes escândalos envolvendo a Petrobras (Oliveira, 2015).

Em 31 de dezembro de 2015, o Jornal Valor Econômico (Valor Econômico, 2015) informou a tramitação de novas licitações para conclusão da construção da UPGN e de instalações da Central de Utilidades do Complexo, responsável pelos serviços de tratamento de água e fornecimento de energia.

Ademais, a estatal também busca parcerias estratégicas com investidores estrangeiros para conclusão das obras da primeira refinaria, levando em consideração que empresas nacionais não possuem capacidade de assumir as mesmas, visto que as

grandes empreiteiras e construtoras estão em crise devido a Operação Lava-Jato (Alvarez & Rosa, 2015).

Em entrevista a Agência Brasil em outubro de 2015 (Oliveira, 2015), o Professor Luiz Pinguelli Rosa, do Programa de Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), ressaltou a necessidade de investimentos na área de refino, visto que o superfaturamento da obra do COMPERJ atrasou o país nesse segmento.

Sendo assim, o empreendimento continua sendo visto como importante contribuinte ao crescimento econômico do país, pois mesmo que não se torne imediatamente no Complexo Petroquímico ao qual estava destinado, seu funcionamento para refino e processamento de gás natural é de extrema importância e urgência.

3.2.3. Caracterização do Município de Itaboraí

3.2.3.1. Breve Histórico

O município de Itaboraí é resultado da união de três vilas coloniais brasileiras: Santo Antônio de Sá, São João de Itaboraí e São José Del Rey (também conhecida como São Barnabé ou Itambi). Sua ocupação territorial se deu por diversos fatores, tais como a proximidade de rios navegáveis, por fins catequistas (jesuítas na região de Cabuçu e Itambi), devido à localização estratégica de São João de Itaboraí em rotas de tropeiros, etc (Prefeitura de Itaboraí, 2016).

O primeiro povoado local se deu na antiga Vila de Santo Antônio de Sá, em 1697, às margens do Rio Macacu e suas terras pertenciam, em sua grande maioria, a um grupo restrito de indivíduos com laços familiares. Tais famílias receberam sesmarias para instalação de lavouras de cana de açúcar e engenhos de açúcar e aguardente (Portal da Cidade de Itaboraí, 2015). Devido a sua localização, a Vila vivenciou grande desenvolvimento econômico, já que era favorecida pelo escoamento fluvial de seus produtos de engenhos. Entretanto, com o excessivo desmatamento, os rios foram assoreados e a proliferação de vetores de doenças foi favorecida (epidemia de malárias conhecida como Febre de Macacu), destruindo o potencial produtivo da região, o que acarretou em 1829, no início da extinção da Vila.

Em 1772, a Vila de Santo Antônio de Sá foi desmembrada, dando origem a Vila de São José Del Rey, situada a aproximadamente 2 km da foz do Rio Macacu (próxima a Itambi, terceiro distrito de Itaboraí atualmente). Esta região, inicialmente indígena, foi colonizada principalmente por jesuítas que vinham ensinar a língua e a religião católica aos nativos. Também foi desenvolvido na Vila o plantio de cana de açúcar e a construção de engenhos a partir da exploração dos índios e, posteriormente, de escravos. Em 1833, a Vila de São José Del Rey foi anexada a então Vila de São João de Itaboraí.

A Vila de São João de Itaboraí começou a ser povoada, em 1696, graças à abertura de uma estrada de ligação de Campos dos Goytacazes a Niterói, que passava pela colina de Itaboraí. Devido à presença de uma fonte d'água, o local tornou-se parada das tropas e deu-se início ao surgimento de ranchos na região. A região, primeiramente uma freguesia, foi elevada a Vila em 1833 através de um decreto imperial.

O desenvolvimento econômico de Itaboraí ocorreu devido ao estabelecimento dos engenhos de açúcar, que se perpetuaram como principal atividade econômica desde o período colonial e faziam da região um importante centro agrícola. Itaboraí foi tão importante economicamente e devido à cultura de seu povo, que concorreu acirradamente com Niterói pelo posto de capital da Província do Rio de Janeiro.

O distrito de Porto das Caixas, mesma região que atualmente abriga o COMPERJ, surgiu no século XVIII e fazia parte da Vila de Santo Antônio de Sá. O distrito recebeu este nome por ser responsável por todo escoamento da produção agrícola de Itaboraí e também do interior fluminense, que chegava ao porto através do Rio Aldeia. Em Porto das Caixas, os produtos eram encaixotados e enviados a Baía de Guanabara, de onde seguiam rumo à Europa.

O açúcar, além de encaixotado, também era embalado em cerâmicas produzidas nos próprios engenhos, o que deu início ao desenvolvimento das olarias, presentes até hoje no município (Portal da Cidade de Itaboraí, 2015).

Em meados do século XIX, teve início a substituição do transporte fluvial pelo transporte ferroviário. Tal substituição ocorreu devido à decadência das embarcações e a construção da ferrovia Carril Niteroiense, que ligava Niterói (então capital da província do Rio de Janeiro) a Cantagalo, passando por Nova Friburgo.

A Estação Ferroviária Visconde de Itaboraí foi incorporada pela Estrada de Ferro Leopoldina em 1887, o transporte ferroviário proporcionou um melhor escoamento da produção cafeeira da região serrana e favoreceu o comércio e a indústria cerâmica da Vila. Este fato propiciou o crescimento populacional da Vila, que em 1890 foi transformada em cidade por meio de um decreto estadual.

Atualmente, a Estação Visconde de Itaboraí encontra-se em total abandono (Giesbrecht, 2015).

Após um período de declínio econômico, muito afetado pela “Febre de Macacu” que dizimou grande parte dos escravos e foi agravado pela abolição da escravatura em 1888, no século XX teve início uma nova economia agrícola, a da laranja. Itaboraí chegou a ser conhecida como “Terra da Laranja”, pois tornou-se o maior produtor do Estado do Rio de Janeiro e o segundo maior Brasil, entre as décadas de 20 e 80. O declínio setor agrícola, que atualmente ainda possui certa participação na economia municipal, foi fruto de sucessivos erros e falta de inovações tecnológicas no plantio, colheita e transporte do produto (Prefeitura de Itaboraí, 2015).

Em paralelo, a produção cerâmica também se expandiu, principalmente em decorrência da modernização da produção com novas tecnologias, na década de 40. Entretanto, com o passar do tempo, a indústria não mais renovou seu processo produtivo e perdeu mercado para olarias de outras regiões do Estado. Mesmo assim, ainda é expressiva na economia do município.

Itaboraí se tornou uma cidade-dormitório a partir da década de 70, fortemente influenciada pela construção da Ponte Rio-Niterói, em 1974, o que gerou grande especulação imobiliária e consequentes problemas ambientais, visto que as áreas de plantação de laranja se tornaram loteamentos sem infraestrutura.

No presente, a economia do município está pautada em atividades de manufatura cerâmica (olarias – decorativa e utilitária), fruticultura, agricultura de subsistência, apicultura, pecuária extensiva, extrativismo mineral, indústrias, comércio e serviços.

As indústrias metálicas leve, indústrias de material não-metálico, de medicamentos, de papel, de bebidas e alimentos, de derivados de carne, têxtil, mobiliário, depósitos e embalagens de bebidas constituem o perfil industrial da região.

Dentre estas, a manufatura cerâmica recebe atenção especial por ser a maior arrecadadora e geradora de empregos locais, porém, antagonicamente, a que traz grandes problemas ambientais devido à degradação de solos de jazidas de argila, pela poluição atmosférica provocada pelas chaminés e pelo assoreamento de rios (Agenda 21, 2015, Portal da Cidade de Itaboraí, 2016).

O anúncio e início da implementação do COMPERJ trouxe acréscimo significativo nas ofertas de empregos devido à necessidade de mão de obra e a atração de investimentos motivados pela implantação do Complexo, como a instalação de indústrias de bens de consumo que utilizam produtos petroquímicos como matérias-primas básicas.

Com a finalidade de atrair a instalação de empresas, os municípios de Itaboraí, Rio Bonito e Tanguá promoveram políticas de redução de Impostos sobre Serviços (ISS), o que acarretou em um aumento do valor adicionado do PIB, principalmente no setor de serviços (Fundação Banco do Brasil, 2013).

Um estudo da Firjan e da Fundação Getúlio Vargas (2008) previa o estabelecimento de 362 novas indústrias do setor de material plástico no Estado, a geração de aproximadamente 15 mil empregos diretos, investimentos de R\$900 milhões e faturamento anual de cerca de R\$2,4 bilhões, num cenário conservador.

3.2.3.2. Características Geográficas e Socioeconômicas

O município de Itaboraí apresenta uma área total de 430,3 km² (correspondentes a 8,1% da área da RMRJ) e é um dos 17 municípios da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. A 45 km da capital do Estado e às margens da Baía de Guanabara, o município é constituído por oito distritos e setenta e três bairros e faz divisa com São Gonçalo, Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Tanguá e Maricá (TCE, 2013). Itaboraí possuía uma população de 222.618 habitantes em 2012 (IBGE, 2016) e PIB de R\$ 2,03 bilhões, correspondentes a 0,59% do PIB estadual (Concremat, 2007 (2), Agenda 21, 2015).

A vegetação de Itaboraí divide-se em pastagens, matas de encosta (Serras do Barbosão e do Lagarto), mangues e brejos. Juntamente com os municípios de Magé e

Guapimirim, Itaboraí compõe a APA Guapimirim, uma unidade de conservação de uso sustentável com objetivo de preservar manguezais remanescentes na região (Prefeitura de Itaboraí, 2015). O município também faz parte da Estação Ecológica da Guanabara (Eseg) para preservação da Mata Atlântica e seu Plano Diretor prevê a criação de novas Unidades de Conservação (BioRio, 2014).

O município tem como principal via de acesso, a partir da cidade do Rio de Janeiro, a BR-101, tendo como outras formas de acesso a RJ-104 (Niterói-Manilha), e a BR-493, que se encontram na Manilha. A região também conta atualmente com o Arco Metropolitano (melhor apresentado mais adiante neste capítulo)(Agenda 21, 2015).

Conforme dito anteriormente, a ocupação do município foi fortemente incentivada pela estrada de ferro da Leopoldina. Segundo estudo realizado pelo Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro, TCE, (2014), 98% da população reside na área urbana (50% no Distrito de Itaboraí, 27% em Manilha e o restante encontra-se distribuído nos outros seis distritos).

No ano de 2010, Itaboraí possuía Índice de Desenvolvimento Humano médio (IDHM) de 0,693 (faixa de IDHM médio vai de 0,600 a 0,699) que o coloca na 62^a posição no Estado. O melhor quesito avaliado no IDHM de Itaboraí foi a Longevidade (esperança de vida ao nascer – em anos), com índice 0,813, seguida de Renda (renda *per capita* em R\$), 0,690, e de Educação, com índice 0,593 (Atlas Brasil de Desenvolvimento, 2013).

O abastecimento de água para população do município é realizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE, cuja captação é feita no sistema Imunana-Laranjal para abastecer Itaboraí, São Gonçalo e Paquetá. Itaboraí não possui mananciais em seu território.

A água bruta proveniente do Sistema Imunana-Laranjal é tratada nas Estações de Tratamento de Água (ETA) de Porto das Caixas e Manilha, a partir das quais água tratada é distribuída ao município. Entretanto, segundo dados apresentados no Plano Municipal de Água e Esgoto de Itaboraí (BioRio, 2014), somente 29% da população é atendida pelas ETAs, sendo a maior parte atendida pelo SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto – o prestador de serviços.

Em 2011 foi inaugurada a ampliação da ETA Porto das Caixas, em Itaboraí, garantindo o abastecimento do COMPERJ de água tratada e melhorando o abastecimento de água no município de Itaboraí (Portal da Petrobras, 2011).

Segundo o Plano, os sistemas operados pelo SAAE são formados, em sua maioria, por poços artesianos e captação superficial de água. O serviço é precário, irregular e não tarifado.

O Plano Municipal de Água e Esgoto (BioRio, 2014) informa que o planejamento de abastecimento de água do município teria início em 2015, com duração de 35 anos e tem como meta atender 95% da população total de Itaboraí ao final do período. Segundo a Prefeitura de Itaboraí (2016) o saneamento básico é um dos grandes problemas para o meio ambiente e saúde da população de Itaboraí.

Assim como o abastecimento de água, o esgotamento sanitário também é operado pela CEDAE e pelo SAAE, que atuam em áreas distintas. A CEDAE possui apenas um sistema coletor interligado a um sistema de tratamento em São Gonçalo – Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Apolo.

Já o sistema de esgotamento sanitário operado pelo SAAE compreende 08 bacias de esgotamento, cada uma delas atendida por uma ETE construída pela Secretaria Municipal de Obras em convênio com a Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. Os distritos beneficiados são Itambi, Manilha, Visconde de Itaboraí, e Sambaetiba. Entretanto, atualmente, apenas 03 ETEs estão em operação e a mesma encontra-se em situação precária (Plano Nacional de Água e Esgoto de Itaboraí, 2014).

Conforme o Plano Nacional de Água e Esgoto (2014) tiveram início em 2015 e tem final previsto em 2049 as obras de saneamento para atendimento de 90% da população total do município. A previsão de implantação está dividida em duas etapas e a primeira corresponde ao programa de compensação ambiental pela construção do COMPERJ, determinada pela Secretaria de Estado do Ambiente – SEA e pelo Instituto de Estadual do Ambiente – Inea, com investimento da Petrobras. Esta etapa tem objetivo de atender a Área Central da cidade.

A segunda etapa de obras será financiada por verbas do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, do Governo Federal e ainda não tem previsão de início.

A coleta e destinação de resíduos sólidos são realizadas pela Prefeitura e dão suporte a grande parte do município. Porém, a zona rural é precariamente atendida, tendo como destinação de resíduos sólidos seu enterramento, queima ou acúmulo em terrenos baldios (TCE, 2014).

3.2.4. Área Estratégica do Empreendimento e Infraestrutura Externa Associada

De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do COMPERJ (Concremat, 2007 (2)), a Área de Influência Estratégica adotada para o mesmo foi todo o Estado do Rio de Janeiro, pois o empreendimento visto em sua totalidade tem capacidade de impactar a economia de todo o Estado.

A Região do Consórcio de Municípios do Leste Fluminense (CONLESTE) foi caracterizada como Área de Abrangência Regional (AAR), a qual abrange municípios do leste Metropolitano como São Gonçalo, Itaboraí, Magé, Guapimirim, e municípios não metropolitanos como Cachoeiras de Macacu, Silva Jardim, Casimiro de Abreu, Rio Bonito, Tanguá e Maricá.

Como Área de Influência Indireta (AII) foram tomados os 17 municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e, como Área de Influência Direta, os municípios interceptados a um raio de 20 km do centro de gravidade do sítio do COMPERJ: São Gonçalo, Tanguá, Rio Bonito, Itaboraí e Magé. Além disto, também foi considerada uma Área Diretamente Afetada (ADA) num raio de 10 km do centro de gravidade do COMPERJ, a qual abrange os municípios de Itaboraí, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu e Tanguá.

A infraestrutura externa associada, ou seja, os demais empreendimentos relacionados ao COMPERJ, porém localizados fora do município de Itaboraí (como a ampliação do terminal de Campos Elíseos e dutos entre Campos Elíseos e o COMPERJ; a base de líquidos em São Gonçalo, os dutos entre o COMPERJ e esta base, os dutos entre a base e ilhas Comprida e Redonda e as instalações nestas Ilhas; a adutora para suprimento de água bruta, o emissário marítimo; o ramal ferroviário, o acesso rodoviário entre a rodovia BR-493 e o COMPERJ; e as linhas de transmissão e

subestações de energia elétrica), foram tratados em processos de licenciamento separados para cada um deles.

A região do empreendimento apresenta vantagens de transporte devido a rodovias de múltiplas faixas BR-101, BR-116 e RJ-104 e rodovias de pista simples BR-493, RJ-116 e RJ-122. Além disso, conta com uma malha ferroviária com dois trechos. Tais características servem como estímulo a chegada de novas indústrias, pois garantem maiores facilidades na exportação de seus produtos.

O COMPERJ viabilizou e fará uso do Arco Metropolitano, estrada que liga a BR-101, em Itaboraí, ao Porto de Itaguaí, passando pelos municípios de Seropédica, Japeri, Nova Iguaçu, Duque de Caxias e Magé, cortando importantes rodovias (BR-101, BR-040, BR-116, BR-493), e ao longo do qual outras indústrias poderão de estabelecer e consumir matérias-primas provenientes das indústrias de base situadas nas extremidades do Arco, como as indústrias de aço de Itaguaí, e as de plástico, de Itaboraí (Concremat, 2007 (1); LIMA, 2012). A Figura 10 apresenta o cruzamento do Arco Metropolitano com as rodovias BR-101 (Rio-Santos), BR-040 (Rodovia Washington Luiz), BR-116 (Rodovia Presidente Dutra), ressaltando como este é capaz de reduzir custos de transporte entre as regiões sudeste, nordeste e centro-oeste, uma vez que essas ligações passam a ser feitas sem passar pelo perímetro urbano (Figura 10).



Figura 10 - Esquema do Arco Metropolitano e municípios cortados por ele. Fonte: Infográficos O Globo (2014).

O ramal ferroviário Visconde de Itaboraí previsto para atender ao Complexo Petroquímico tem por finalidade ligar o Complexo a Japeri e aproveitar a ferrovia já

existente (Valor Online, 2010), precisando de reformas de revitalização. Deverão ser reativados 70 km de linha férrea entre os ramais de Itaboraí, Magé, Saracuruna, São Bento, Ambaí e Japeri (onde se ligarão aos ramais ativados da Super Via). Dessa forma, o COMPERJ estaria ligado aos principais centros consumidores e portos do Estado, levando em consideração a linha férrea a ser revitalizada, conforme Figura 11. Também era prevista a ligação do COMPERJ ao Porto do Açú através da ferrovia.

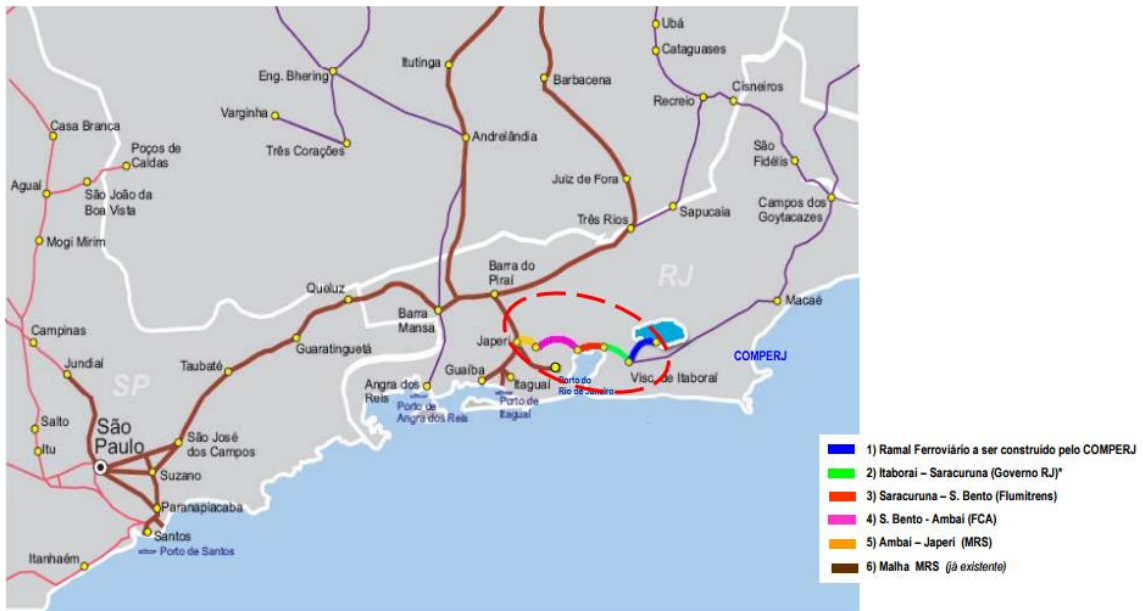


Figura 11 - Linha férrea de ligação do Ramal Visconde de Itaboraí ao Ramal de Japeri. Fonte: Apape, 2013.

As linhas de transmissão de energia elétrica – duas linhas aéreas paralelas com extensão de aproximadamente 10 km cada – conforme RIMA produzido pela empresa Cepemar Consultoria em Meio Ambiente Ltda. em 2010, conectam a linha de transmissão Adrianópolis – Macaé de 345 kV, pertencente a empresa Furnas Centrais Elétricas S.A., à subestação de energia prevista para o Centro de Utilidades do COMPERJ (Figura 12).



Figura 12 - Linhas de Transmissão de Energia do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro.
Fonte: Cepemar, 2010.

O Sistema de Dutos e Terminais de suprimento de matéria-prima e escoamento dos produtos produzidos no COMPERJ até a Refinaria Duque de Caxias, e os Terminais de Campos Elíseos (TECAM) e de Ilha Comprida (TAIC), teve seu EIA/RIMA apresentado em 2009 pela empresa Bourscheid, dois anos após a divulgação do EIA/RIMA do empreendimento individual (Concremat, 2007 (2)).

Optou-se pelo transporte de gás, petróleo e seus derivados através do sistema dutoviário para redução de riscos inerentes em comparação a outras formas de transporte, sendo este tipo de transporte reconhecido internacionalmente, além de oferecer maior rapidez e capacidade de volume de transporte.

Na Figura 13 é apresentada uma representação esquemática do COMPERJ e suas interligações dutoviárias com o Terminal de Campos Elíseos (TECAM), em Duque de Caxias, para o qual também era prevista uma ampliação para estocagem, para envio do petróleo Marlim e de óleo combustível na direção do Complexo e para escoamento, no sentido contrário, principalmente de nafta e óleo diesel. Ademais, a Figura 13 também apresenta a ligação o terminal que seria implantado em Guaxindiba (São Gonçalo), a partir do qual sairiam dutos de ligação com as Ilhas Comprida e Redonda (município do Rio de Janeiro) para transporte de produtos petroquímicos líquidos a serem embarcados em navios transportadores (Concremat, 2007(2)).

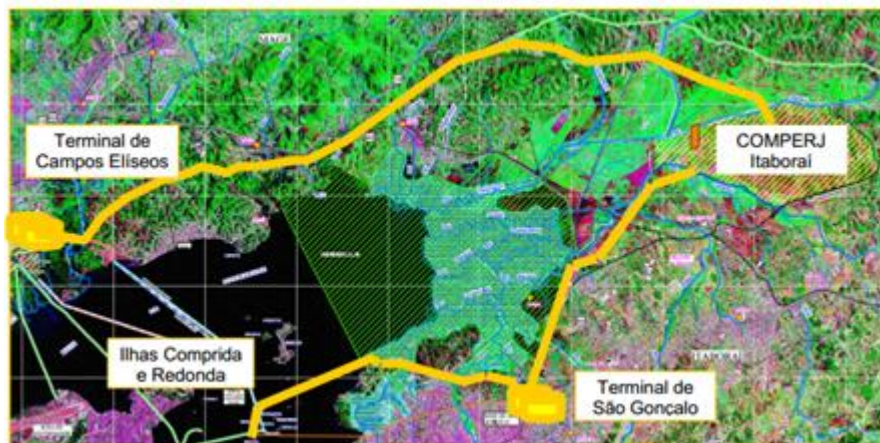


Figura 13 - Representação esquemática das interligações dutoviárias do COMPERJ. Fonte: Concremat, 2007 (2).

No EIA (Concremat, 2007 (2)), foram apresentadas 8 alternativas para abastecimento de água do Complexo, dentre as quais, a escolhida, foi o reuso da água tratada pela Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu em parceria com a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE).

Entretanto, diferente das 8 alternativas propostas pelo EIA, resolveu-se utilizar uma adutora de água proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Alegria, a partir também de uma parceria com a CEDAE. Entretanto, a partir de comunicação pessoal com um funcionário da CEDAE, esses planos foram alterados devido a dificuldades técnicas e uma das alternativas iniciais propostas no EIA foi reavaliada. A partir disso, foi decidido que o abastecimento de água seria realizado a partir de água bruta captada da Estação de Tratamento Guandu (uma das alternativas do EIA), a mesma ETA que abastece atualmente a REDUC.

Além do fornecimento de água bruta para abastecimento industrial, também haverá fornecimento de água potável para o COMPERJ. Além do convênio entre CEDAE e Petrobras para provisão de água bruta ao Complexo, outra parceria também foi firmada entre as duas empresas. Em 2011 foi inaugurada a ampliação da ETA Porto das Caixas, em Itaboraí, garantindo o abastecimento do COMPERJ de água tratada e melhorando o abastecimento de água no município de Itaboraí (Portal da Petrobras, 2011).

A ampliação se deu pela construção de uma adutora e agora a ETA produz 22 milhões de litros/dia de água tratada (vazão adicional de 8,64 milhões de litros/dia), o suficiente para abastecer 20 mil habitantes do município, além de prover água a toda fase de obras do COMPERJ. O projeto custou R\$70 milhões e metade da vazão adicional é revertida ao município (Portal do Governo do Estado, 2011).

Ademais, posteriormente, outra alternativa apresentada no RIMA (Concremat (1)) foi escolhida como complementação de abastecimento, a de construção de uma barragem no rio Guapiaçu para aumento da vazão do sistema Iumanana-Laranjal.

Foram adotadas ambas as alternativas, pois a água a ETA Guandu seria destinada ao processo industrial, e a água proveniente da barragem do rio Guapiaçu seria utilizada como compensação ambiental do empreendimento para fornecimento do abastecimento público da região, considerando ainda o crescimento demográfico da mesma em consequência do estabelecimento do COMPERJ.

O emissário terrestre submarino para lançamento de efluentes salinos, de acordo com seu respectivo RIMA (Cepemar, 2010), possuía duas opções de localização. Ou seria implantado na Baía de Guanabara, com 30 km de trecho terrestre e 10 km de trecho marinho; ou na Praia de Itaipuaçu – Distrito de Maricá, com 40 2 km de trechos terrestre e marinho, respectivamente. A opção escolhida foi a de construção do emissário terrestre marinho na Praia de Itaipuaçu, cuja licença de instalação foi concedida pelo INEA no ano de 2013 (Chaché, 2014).

Outras instalações foram posteriormente apresentadas, tais como Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN) e Unidades de Óleos Básicos Lubrificantes (ULUB). A UPGN é responsável pela geração de gás natural para venda e disponibilização de gás para o próprio Complexo, e a ULUB, pela produção de óleos básicos (leves, médios e pesados) com base em insumos provenientes do próprio empreendimento, óleo não convertido (UCO) e hidrogênio.

3.3. Metodologia para o Desenvolvimento das Simbioses

Levando em consideração a falta de previsão para retomada das obras da refinaria e para a implantação das unidades de primeira e segunda geração de produtos, o presente estudo abordará a configuração original do empreendimento - refino do petróleo e geração de petroquímicos.

Este estudo foi baseado, em grande parte, no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do COMPERJ e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), ambos elaborados pela empresa CONCREMAT e apresentados em 2007 como exigências para o processo de obtenção da Licença Prévia (LP) do projeto. Todavia, é importante esclarecer que o EIA e RIMA em questão se referem apenas ao empreendimento localizado no sítio principal do COMPERJ em Itaboraí (não contemplando as unidades de infraestrutura externas associadas), e que após este estudo, algumas mudanças foram estipuladas, conforme descrito anteriormente.

Capítulo 4 – RESULTADOS

O primeiro cenário desenvolvido teve como objetivo contextualizar o empreendimento âncora; apresentar seu processo produtivo e sua geração de resíduos; e, a partir dessas informações, desenvolver a Matriz Base Gerador/Receptor que ilustra os resíduos gerados no processo de refino e na geração petroquímica e as sinergias que podem ocorrer dentro do próprio Complexo. Para isso foram utilizadas informações dos Estudos de Impacto Ambiental do Complexo e das Unidades Auxiliares – ULUB e UPGN (Concremat (2), 2007 e Mineral Engenharia, 2012).

No segundo cenário buscou-se, com auxílio do Cadastro Industrial do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2014), identificar as principais tipologias indústrias encontradas no município de Itaboraí (área de influência regional considerada) e os insumos necessários a cada uma delas. Os dados foram compilados em uma Matriz Região Gerador/Receptor e cabe destacar que essa avaliação não considerou quantidade e qualidade dos resíduos gerados, nem as especificidades relativas a cada processo produtivo.

Quanto ao terceiro cenário, visou-se integrar o Complexo e a região econômica que o cerca, apontando, além das principais tipologias industriais presentes no município de Itaboraí, as dos municípios de São Gonçalo, Rio Bonito, Magé, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu e Tanguá – considerados como Área de Influência Inter-Regional da âncora. Esta integração visou demonstrar como as diversas tipologias industriais identificadas podem estabelecer intercâmbios com os subprodutos gerados pela âncora, evidenciando a possibilidade de estabelecimento de uma Simbiose Industrial entre os mesmos. Para isso, foi desenvolvida a Matriz Inter-Região Gerador/Receptor.

Além disso, no terceiro cenário também foram apresentadas medidas administrativas que deveriam ser tomadas para o estabelecimento da região/inter-região como uma Simbiose Industrial, que poderá se tornar, com o tempo e correta administração, num Parque Industrial Ecológico, de acordo com as considerações feitas no Capítulo 2.

4.1. Cenário I: Empreendimento Âncora

Para apresentação do processo produtivo do empreendimento âncora, de seus produtos e seus resíduos, foram utilizados como referência os Estudos de Impacto Ambiental do COMPERJ (Concremat, 2007 (2)) e das Unidades Auxiliares de Óleos Básicos Lubrificantes e Processamento de Gás Natural (Mineral Engenharia, 2012) e o Relatório de Impacto Ambiental do COMPERJ (Concremat, 2007 (1)).

4.1.1. Refino do Petróleo e a Produção de Petroquímicos

O processo de refino do petróleo abrange uma série de ações térmicas, físicas e químicas combinadas, que visam seu máximo aproveitamento energético através da obtenção de produtos fracionados, derivados de composição e propriedades físico-químicas determinadas (Ministério de Minas e Energia, 2011). Em suma, refinar petróleo é limpá-lo, segregar e processar suas frações, transformando-o em produtos com diversas aplicações.

As quatro etapas genéricas de refino de petróleo são compreendidas por processos de dessalinização, separação, conversão e tratamento. Tais etapas são adaptadas ao tipo de petróleo bruto direcionado ao empreendimento, sendo a destilação atmosférica vista como operação vital para todos os tipos. Além desses processos, as refinarias também têm a função de remover impurezas do petróleo bruto, através de processos específicos para tal fim (Cunha, 2009).



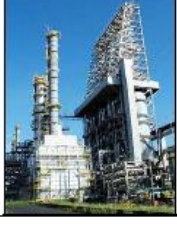
4.1.1.1. Produtos Gerados no Processo Produtivo

A Refinaria do COMPERJ em conjunto com a Central Petroquímica, denominadas Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB), objetivando maximizar a produção de forma ajustada às propriedades do petróleo do Campo de Marlim, possui a estrutura apresentada no Quadro 1, Quadro 2 e Quadro 3.

O petróleo bruto, armazenado em tanques de estocagem, passa inicialmente pela Unidade de Destilação Atmosférica para obtenção de corrente de gás combustível, gás

liquefeito do petróleo (GLP), nafta, querosene e destilados médios (diesel leve e pesado). O resíduo atmosférico proveniente desta Unidade segue para a Unidade de Destilação a Vácuo, na qual é obtido gasóleo leve, gasóleo pesado e resíduo de vácuo. Ambas as unidades submetem o petróleo cru a elevadas temperaturas para que suas diferentes frações entrem em seus respectivos pontos de ebulição e promovam sua separação. Vale ressaltar que a destilação é um processo físico e não ocasiona alterações nas propriedades químicas dos componentes do petróleo.

Quadro 1 - Primeira parte das Unidades constituintes do processo de refino e produção de petroquímicos do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Concremat, 2007 (2).

Unidade Industrial	Finalidade	Ilustração	Unidade a que pertence no COMPERJ
Destilação atmosférica	Separar as frações leves do petróleo		Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB – Refinaria)
Destilação a vácuo	Separar as frações pesadas do petróleo		Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB – Refinaria)
Coqueamento	Craquear ² as moléculas das frações mais pesadas do petróleo		Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB – Refinaria)

Posteriormente, o resíduo de vácuo é enviado para Unidade de Coqueamento Retardado - UCR (cerca de 7.000 t/d), na qual sofre craqueamento de suas moléculas através de um processo térmico, dando origem a gás combustível, GLP, nafta de coqueamento, gasóleo leve, gasóleo pesado e coque (estocagem).

O querosene, os destilados médios junto do gasóleo leve da UCR e a nafta de coqueamento são direcionados as suas respectivas Unidades de Hidrotratamento (HDT) para que atinjam suas especificações e retornem ao processo.

O HDT de nafta deve reduzir o teor de enxofre das correntes de nafta do Hidrocraqueamento (HCC) e da nafta da UCR para que a nafta leve tratada possa ser empregada na Unidade de Pirólise e a nafta pesada tratada, na Unidade de Aromáticos.

O HDT de querosene objetiva reduzir o teor de enxofre do mesmo, para que ele possa ser utilizado na Unidade de Pirólise. Já o HDT de Destilados Médios é realizado para processamento de diesel proveniente da Unidade de Destilação Atmosférica, nafta bruta proveniente do HDT de querosene e gasóleo leve produzido na UCR, a fim de encaminhar nafta e GLP tratados a Unidade de Pirólise e destilado médio a Unidade de Craqueamento Catalítico Fluido (FCC).

Na sequência do refino, tem-se a Unidade de HCC, que converte moléculas de grande peso molecular em compostos menores, ou seja, converte gasóleos leve e pesado e nafta bruta em correntes mais leves de GLP, querosene e nafta leve para serem empregados na Unidade de Pirólise; óleo diesel para armazenamento e comercialização; óleo leve de reciclo para Unidade de FCC e nafta pesada para hidrotratamento e armazenamento.

As unidades da refinaria realizam a chamada “preparação de carga”, como pôde ser observado nos dois primeiros esquemas. Após a preparação das cargas, tem o início a primeira geração petroquímica, que envolve as Unidades de Pirólise, FCC Petroquímico, Aromáticos, HDT de Nafta e Gasolina de Pirólise e Extração de Butadieno.

A Unidade de FCC recebe uma mistura de óleo não convertido proveniente da Unidade de HCC e destilado médio tratado na Unidade de HDT de destilados médios, para produção de oleofinas. Nesta etapa, são gerados principalmente GLP, nafta craqueada (maior constituinte da gasolina), etileno, propileno, etano e propano.

A Unidade de Pirólise é muito comum em centrais petroquímicas, pois através de um processo térmico, transforma correntes gasosas e naftas em etileno e propileno.

Estes, em conjunto com as frações produzidas durante o FCC, são encaminhados para estocagem e utilizados posteriormente na Unidade Petroquímica Associada (UPA).

Na Central Petroquímica também está presente uma Unidade de Aromáticos, que tem por finalidade transformar nafta pesada e gasolina de pirólise hidrotratadas em correntes de benzeno, p-xileno, entre outras. Estes produtos também são estocados e direcionados as UPAs.

Durante o processo de pirólise é formada uma corrente de C₄ bruto que é encaminhada a uma Unidade de Extração, onde ocorre a recuperação do butadieno, oleofina leve que é estocada (Concremat, 2007 (2)).

Quadro 2 - Segunda parte das Unidades constituintes do processo de refino e produção de petroquímicos do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Concremat, 2007 (2).

Unidade Industrial	Finalidade	Ilustração	Unidade a que pertence no COMPERJ
Hidrocrackeamento	Craquear, sob forte pressão de gás Hidrogênio (H ₂), as moléculas de frações pesadas diversas		Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB - Refinaria)
Hidrotratamento e hidrogenação	Remover enxofre, nitrogênio de certas frações e/ou adicionar hidrogênio		Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB - Refinaria)
Craqueamento catalítico petroquímico	Craquear cataliticamente frações médias e pesadas produzindo olefinas leves		Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB – 1ª geração ¹)
Produção de aromáticos	Rearranjar moléculas com 6 a 8 átomos de carbono na forma de hidrocarbonetos aromáticos (ex: benzeno, xileno)		Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB – 1ª geração)
Pirólise ou <i>steam cracker</i>			Unidade de Petroquímicos Básicos (UPB – 1ª geração)

A UPB passou a contar, em 2012, com dois novos centros produtivos: Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN) e Unidades de Óleos Básicos Lubrificantes (ULUB). Ambos os centros produtivos farão uso da infraestrutura oferecida pelo Complexo, como prédios administrativos, oficinas, fornecimento de água tratada e vapor, estação de tratamento de efluentes.

As UPGNs têm como principal objetivo o processamento do gás natural não processado do Pólo Pré-Sal da Bacia de Santos para venda, e uso como combustível e matéria-prima no próprio COMPERJ. As UPGNs tem capacidade de processar 21 milhões de m³ de gás natural por dia e estão divididas em: unidades de processamento de gás natural, unidades de processamento de condensado de gás natural, unidades de tratamento de gás natural, uma unidade de tratamento cáustico de GLP, coletores de condensado (Mineral Engenharia, 2012).

O processamento do gás consiste na sua separação em frações de gás processado (especificado para venda), de gás rico em etano e de gás rico em propano (fracionado posteriormente em GLP e gasolina natural). O etano é utilizado como gás combustível dentro no próprio Complexo, assim como a gasolina natural. O GLP e o gás processado podem ser utilizados nas centrais petroquímicas ou comercializados. As quantidades produzidas de cada produto e subproduto não foram especificadas no EIA (Mineral Engenharia, 2012).

A produção de Óleos Básicos Lubrificantes na ULUB é realizada pelo processo de hidrodesparafinação, cujo aporte de matérias-primas é gerado dentro do Complexo: Óleo Não Convertido (UCO – que pode ser comercializado como óleo combustível), formado no processo de HCC de diesel e gasóleo leve; e hidrogênio, disponibilizado pela Unidade de Produção de Hidrogênio. A capacidade de processamento da ULUB é de 1400 m³ de UCO por dia.

Como produtos, têm-se três tipos de óleos básicos lubrificantes: óleo lubrificante leve (70N), óleo lubrificante médio (150N) e óleo lubrificante pesado (500N). Como subprodutos, a ULUB fornece gás combustível, nafta e diesel. Produtos e subprodutos podem ser comercializados, utilizados como combustíveis, ou direcionados como matéria-prima para as unidades petroquímicas do COMPERJ.

Tanto a UPGN quanto a ULUB serão atendidas por subestações de energia específicas, tanques de armazenamento de produtos e subprodutos, sistema de tochas (queima de gases), interligações com os sistemas existentes, torres de resfriamento de água e estações de carregamento rodoviário de produtos.

Diante do exposto, observamos que a UPB é responsável pela produção de: gás natural processado, etano, GLP, óleos lubrificantes básicos, óleo diesel (535 kta/ano), nafta pesada (284 kta/ano), coque (700 kta/ano), enxofre (45 kta/ano), etileno (1,3 mil kta/ano), propileno (880 kta/ano), butadieno (160 kta/ano), benzeno (608 kta/ano) e para-xileno (700 kta/ano).

Nas Unidades de Petroquímicos Associadas – UPAs, constituídas pelas unidades de segunda geração petroquímica, ocorre a conversão dos petroquímicos básicos em: estireno (500 kta/ano), etilenoglicol (600 kta/ano), polietilenos (800 kta/ano), polipropileno (850 kta/ano), PTA e PET (500/600 kta/ano).

É importante informar que as quantidades geradas de cada produto foram estimadas num cenário de referência de 150 mil barris diários de petróleo previstos para um trem de refino. Porém, a produção foi alterada e, atualmente, tem por base a capacidade de refino de 165 mil barris diários de petróleo, em cada trem de refino (previsão de dois trens no Complexo).

A Unidade de Polietileno converte etileno em polietilenos de baixa e alta densidade linear, PEBDL e PEAD, respectivamente. Já na Unidade de Polipropileno, também é utilizado etileno como matéria-prima, porém é adicionado a ele propileno, gerando polipropileno como produto final. Vale ressaltar que o processo de conversão não utiliza todo o volume de gás propileno e ele pode ser comercializado individualmente como combustível para inúmeros processos industriais.

A Unidade de Etilenoglicol recebe etileno e adição de metano para geração de mono-, di- e trietenoglicol. Este último é utilizado na produção de poli(tereftalato de etileno) (PET) em outra Unidade Industrial. Para produção de PET também é adicionado Ácido Tereftálico Purificado (PTA) originado a partir da reação de para-xileno com ácido acético (Concremat, 2007 (2)).

A última UPA é a de Etilbenzeno e Monômero de Estireno, produzidos a partir de reações de benzeno e etileno (Concremat, 2007 (2)).

As UPAs apresentam a seguinte estrutura (Quadro 3).

Quadro 3 - Terceira parte das Unidades constituintes do processo de refino e produção de petroquímicos do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Concremat, 2007 (2).

Unidade Industrial	Finalidade	Ilustração	Unidade a que pertence no COMPERJ
Unidade de Polietileno	Produzir polietilenos lineares de alta e de baixa densidade a partir de eteno		Unidades Petroquímicas Associadas (UPA) ¹
Unidade de Polipropileno	Produzir polipropileno a partir de propeno		Unidades Petroquímicas Associadas (UPA)
Unidade de Etilenoglicol	Produzir óxido e de eteno a partir de eteno e convertê-lo, em seguida a etilenoglicol		Unidades Petroquímicas Associadas (UPA)
Unidade de Estireno	Produzir estireno a partir de eteno e benzeno		Unidades Petroquímicas Associadas (UPA)
Unidade de PTA ² e PET	Produzir PTA a partir de para-xileno. Produzir PET a partir de PTA e etilenoglicol		Unidades Petroquímicas Associadas (UPA)

Na Tabela 1 são apresentados os produtos da segunda geração e como eles podem ser empregados em indústrias de terceira geração.

Tabela 1- Produtos de segunda geração petroquímica e seus potenciais usos nas indústrias de terceira geração. Fonte: Concremat (2007 (2)).

Produto	Fabricação e Utilização
Polietilenos	Fabricação de embalagens de alimentos e cosméticos, tanques de gasolina, brinquedos, sacolas, etc.
Polipropilenos	Embalagens para alimentos, produtos têxteis e cosméticos, tampas de refrigerante, potes para freezer e garrações de água mineral. Também são utilizados em produtos hospitalares descartáveis, tubos para água quente, autopeças, fibras para tapetes, fraldas, absorventes higiênicos, etc.
Ácido Tereftálico Purificado (PTA)	Utilizado juntamente com Etilenoglicol na fabricação de fios e filamentos de poliéster, que utilizados na indústria têxtil e outras.
Poli(tereftalato de etileno) (PET)	Suas características de transparência, impermeabilidade e leveza permitem que o PET seja utilizado, principalmente, na fabricação de garrafas de água mineral e refrigerantes, embalagens de produtos alimentícios, como óleos e sucos, de limpeza, cosméticos e farmacêuticos. Também está presente em bandejas para micro-ondas, filmes para áudio e vídeos, fibra têxtil, copos plásticos, caixas de CDs, entre outros.
Etilenoglicol (EG)	Utilizado como fluido de refrigeração e matéria-prima na fabricação de fios e filamentos de poliéster.
Monômero Estireno (SM)	Utilizado na fabricação de plásticos que são utilizados em produtos descartáveis, material escolar (régua, esquadros e outros), lanternas de automóveis, copos de liquidificador, etc.

4.1.1.2. Informações Gerais sobre os Resíduos Gerados no Processo Produtivo

Nas operações realizadas para refino e produção petroquímica, são gerados resíduos principalmente perigosos, mas também resíduos não perigosos como plástico, papelão. Outros resíduos perigosos são gerados como os de saúde, provenientes de enfermarias (indispensáveis em empreendimentos desta área) (Ministério de Minas e Energia, 2011).

Os resíduos perigosos gerados em operações de refino apresentam grandes riscos ambientais devido à possibilidade de migrarem para o solo, acarretando sua contaminação e podendo atingir corpos hídricos subterrâneos e superficiais. Também representam riscos aos seres vivos através da cadeia alimentar, do contato e da inalação.

Sua periculosidade se deve a presença de substâncias químicas em sua composição, como arsênio, chumbo, mercúrio, enxofre, hidrocarbonetos aromáticos, poliaromáticos e não aromáticos, amônia, metais pesados em geral e óleo (Mariano, 2001).

As características físico-químicas, tóxicas e efetivos potenciais poluidores dos resíduos correspondem ao tipo de petróleo processado, aos derivados produzidos a partir dele e aos processos adotados em seu refino. Dessa forma, cada resíduo necessita de uma disposição ou tratamento adequado, de acordo com suas características, a fim de não ocasionar graves problemas ambientais (Cunha, 2009).

De acordo com Mariano (2001), os principais resíduos gerados em refinarias são: “[...] a lama dos separadores de água e óleo, a lama dos flutuadores de ar, os sedimentos do fundo dos tanques de armazenamento do petróleo cru e seus derivados, as borras oleosas, as argilas de tratamento, as lamas biológicas, além de sólidos emulsionados em óleo”.

Cunha (2009) ressalta que para uma gestão eficiente de resíduos sólidos é necessário, primeiramente, identificar os diversos tipos de resíduos gerados no processo produtivo e no tratamento de efluentes e, posteriormente, estudar e detalhar a periculosidade e as características físico-químicas dos mesmos, a fim de encontrar as melhores alternativas para tratamento, disposição final em aterros industriais, reciclagem e/ou reutilização. O autor também afirma que há falta de interesse nas refinarias em investimentos com tratamento e disposição adequados de resíduos, pois as legislações ambientais tendem a ser muito rígidas e, ao mesmo tempo, pecam em fiscalização. Além disso, a gestão de resíduos é, muitas vezes, dispendiosa e sem retorno financeiro.

Dito isso, pode-se ressaltar a vantagem de se investir em sinergias ambientais, a fim de reduzir a quantidade de resíduos descartados, garantir que os mesmos não gerem poluição, e trazer retorno financeiro a partir de sua venda como insumos para diversos processos produtivos.

4.1.1.2.1. Geração de Efluentes

O uso de água em indústrias ocorre de diversas formas, tais como na incorporação ao produto; na lavagem de máquinas, tubulações e pisos; em sistemas de refrigeração e geradores de vapor, entre outros. Com isso, as características físico-químicas da água são alteradas de acordo com a composição das matérias-primas e dos processos industriais, e os efluentes líquidos são gerados.

Os efluentes gerados em refinarias de petróleo abrangem as águas de resfriamento, de processo, pluviais e os esgotos sanitários e tendem a impactar mais o meio ambiente que os resíduos sólidos, pois possuem maior facilidade de movimentar-se pelo ambiente, podendo atingir outras áreas (Cunha, 2009).

As refinarias e centrais petroquímicas devem ser compostas por Estações de Tratamento de Efluentes dotadas de tecnologias que envolvam processos físicos, químicos e biológicos, e devem descartar seus efluentes tratados na rede pública ou em corpos hídricos apenas se seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos estiverem de acordo com as legislações ambientais vigentes aplicáveis (FEEMA, 1986).

O projeto do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro prevê uma Unidade de Utilidades (UTIL) responsável pela geração e distribuição de energia e vapor e pelo tratamento de efluentes, de água bruta de captação, de água de caldeira e desmineralizada e de águas ácidas de processo.

O Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos, ou a Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI), integrante da UTIL do Complexo, foi planejado para tratar integradamente os efluentes industriais, sanitários e pluviais (Concremat, 2007 (2)).

Isto não quer dizer que todos os efluentes sejam misturados e tratados da mesma forma, na realidade as correntes são segregadas e cada efluente recebe o tratamento específico para redução de seus contaminantes e de sua carga orgânica. A ETDI conta com tratamento nível primário, secundário e terciário, além de sistema de secagem de lodos e de estocagem e dosagem de produtos químicos. São previstas bacias de contenção para acúmulo de efluentes em eventuais casos de parada da Estação para manutenção.

O tratamento primário visa a retirada de óleo e sólidos em suspensão, já o tratamento secundário consiste de um sistema de equalização, dosagem de produtos químicos e um reator biológico (lodos ativados) com membranas de ultrafiltração (MBR). O tratamento terciário, por sua vez, promove a remoção de compostos orgânicos refratários ao processo biológico através de filtros de carvão ativado, e a remoção de íons, através de um sistema de eletrodialise reversa (EDR), por exemplo. Além disso, o sistema terciário também dispõe de osmose reversa para polimento do efluente tratado.

De acordo com o EIA (Concremat, 2007 (2)), os efluentes a serem tratados na Estação de Tratamento do COMPERJ foram classificados como: oleosos, contaminados, sanitários e efluentes dos sistemas de resfriamento. Para os autores do EIA, foram considerados como efluentes oleosos, aqueles provenientes de drenos e do fundo de equipamentos de unidades produtivas, como caldeiras, áreas de bombas que levem óleo, drenagem de fundo de tanques de petróleo, lavagem de pisos e de equipamentos em oficinas, entre outros que, por estarem em contato direto com óleos e petróleo, contenham hidrocarbonetos e outros possíveis contaminantes.

A diferença entre efluentes oleosos e efluentes contaminados, estabelecida pelo EIA (Concremat, 2007 (2)), se dá pela concentração de hidrocarbonetos e contaminantes. Caso a concentração seja elevada a ponto de impossibilitar o lançamento do efluente diretamente no corpo receptor, esse éfluente é considerado contaminado.

Os efluentes sanitários são resultado do uso de chuveiros, vasos sanitários, pias e drenos de cozinha, ralos de pisos, bebedouros, laboratórios, restaurantes. São conhecidos também como águas cinzas.

O efluente de sistemas de resfriamento também pode ser contaminado por hidrocarbonetos e outras substâncias, porém são provenientes das purgas das torres de resfriamento e dos filtros laterais das mesmas.

Além da ETDI, o Complexo também conta com Unidades de Tratamento de Águas Ácidas geradas nos processos produtivos e com um sistema de pré-tratamento, clarificação e filtração de água bruta (aporte externo) (Concremat, 2007 (1)).

De acordo com o EIA do empreendimento (Concremat, 2007 (2)), as três Unidades de Tratamento de Águas Ácidas foram designadas para tratamento das águas ácidas produzidas em diversas unidades do COMPERJ, que contêm amônia e sulfeto de hidrogênio e que devem ser removidos, de modo a permitir a reutilização dessas águas. A partir do tratamento são geradas três correntes: corrente gasosa rica em amônia e com baixo teor de H₂S, corrente gasosa rica em H₂S e com baixa quantidade de amônia, e corrente aquosa com baixos teores de amônia e H₂S. As correntes gasosas são reutilizadas no processo produtivo e a corrente aquosa é encaminhada a ETDI para posterior reuso nos sistemas de resfriamento.

A água bruta que chega ao Complexo deve receber tratamento adequado antes de sua utilização como água de processos, potável, de resfriamento e de combate a incêndio. Para isso serve a Unidade de Pré-Tratamento, Clarificação e Filtração de água bruta, cuja demanda estimada para o COMPERJ é de, inicialmente, cerca de 5.400 m³/h, considerando um efetivo reuso de efluentes (Concremat, 2007 (2)).

A Tabela 2 demonstra de forma detalhada os efluentes a serem processados na ETDI, nas unidades de tratamento de águas ácidas e de água bruta.

O tratamento de efluentes gera efluentes tratados, lodo biológico, proveniente do sistema de MBR, e lodo oleoso, proveniente dos separadores de água e óleo e sobrenadantes das bacias de flotação. Ambos os lodos passam por um processo de secagem em centrífugas para produção de uma torta com concentração de 25 a 30% de sólidos e são considerados resíduos sólidos (caracterizados ou não como resíduos perigosos em função de seus componentes – metais, solventes, tintas, ácidos, óleos, etc.) (Concremat, 2007 (2)).

Ao final do tratamento têm-se as seguintes correntes de efluentes tratados: óleo residual tratado (para reuso), efluentes salinos tratados (para reuso), efluentes contaminados tratados (para reuso), efluente salino concentrado (também chamado de rejeito salino, para despejo através do emissário). Na Tabela 3 estão apresentadas suas respectivas vazões estimadas.

Conforme Relatório de Impactos do COMPERJ (Concremat, 2007 (1)), a Estação de Tratamento prevista para o Complexo prevê aproximadamente 80% de reuso da geração total de efluentes, direcionados às torres de resfriamento. Uma parcela da

água, devido às repetidas reutilizações, torna-se salgada e, devido a isso, deve ser descartada através do emissário (Concremat, 2007 (1)).

A água de reuso também poderia ser utilizada para outros fins não nobres como lavagens dos tanques, banheiros, caldeiras águas de processo, entre outros, de acordo com a qualidade demandada por cada um destes usos (Veiga, 2007).

Tabela 2 - Correntes estimadas de Efluentes a serem tratados na Estação de Tratamento de Despejos Industriais, nas unidades de águas ácidas e de água bruta. Fonte: Adaptado de Concremat, 2007 (2).

Resíduos Líquidos – Efluentes⁽¹⁾ e Água Bruta	Quantidade (m³/h)
Água ácida	(2)
Água bruta	5.400
Efluentes oleosos salinos	175
Efluentes oleosos não salinos⁽³⁾	363
Efluentes não salinos oleosos (purga das torres de refrigeração)	835
Efluentes não oleosos e não salinos (efluente unidade de PTA e sanitário)	165

Legenda: (1) Foram consideradas as quantidades de efluentes geradas nas estações secas, visto que as estações chuvosas contribuem apenas com maior infiltração de água pluvial; (2) Não há dados da quantidade gerada deste resíduo, apenas da capacidade de tratamento de duas das três unidades previstas, que é 191t/h, cada; (3) Foi considerada água contaminada como efluente oleoso não salino.

Tabela 3 - Correntes de efluentes e suas respectivas vazões estimadas produzidas diariamente no COMPERJ. Fonte: Adaptado de Concremat, 2007 (2).

Efluentes Tratados⁽¹⁾	Quantidade (m³/h)
Água bruta tratada	5.400
Óleo residual tratado	544
Efluentes salinos tratados	741
Efluentes contaminados salinos tratados	920
Efluentes salinos concentrados tratados	192

Legenda: (1) Foram consideradas as quantidades de efluentes geradas nas estações secas, visto que as estações chuvosas contribuem apenas com maior infiltração de água pluvial.

4.1.1.2.2. Geração de Resíduos Sólidos

De acordo com a NBR-10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), resíduos sólidos são conceituados como determinados resíduos nos estados sólidos e semissólidos, resultantes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição, e lodos provenientes de sistemas de tratamento, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Os resíduos sólidos, de acordo com a mesma norma, são classificados de acordo com a periculosidade que apresentam sendo: Classe I – resíduos perigosos e Classe II – resíduos não perigosos, que abrange Classe II A – não inertes e Classe II B – inertes (Tabela 4).

Nos processos de refino do petróleo e seus derivados são gerados tanto resíduos Classe I, quanto Classe II (A e B), sob a forma de sobrenadantes, sólidos emulsionados, lodos, resíduos em geral, catalisadores gastos e borras.

Para melhor apresentar os resíduos previstos a serem gerados no processo produtivo e em unidades de infraestrutura associadas, foi elaborada a

Tabela 5. Cabe ressaltar que a tabela reúne os resíduos gerados tanto no projeto inicial do Complexo, quanto àqueles previstos para as Unidades de Gás Natural e Geração de Lubrificantes Básicos. Os tipos de resíduos e suas respectivas quantidades geradas foram estimados pelos EIAs (Concremat, 2007 (2), Mineral Engenharia, 2012) e podem sofrer alterações após o real estabelecimento do empreendimento.

A

Tabela 5 acima mostra um total de aproximadamente 80.915 t/a de diferentes tipos de resíduos sólidos, sendo sua diversidade fruto dos processos industriais e constituintes das Classes de resíduos sólidos I, IIA e IIB, de acordo com a NBR-10.004

(ABNT, 2004). Resíduos de Classe I e IIB correspondem a 50% e 28%, respectivamente, da variedade de resíduos gerados no Complexo, totalizando 78% da diversidade dos resíduos. Entretanto, mesmo com maior variedade pertencente às Classes I e IIB, a quantidade gerada de resíduos de Classe IIA é expressiva, cerca de 13.450 t/a, graças notoriamente à produção de lodos biológico e de resíduo oleoso na ETDI (cerca de 4.360 e 8.140 t/a, respectivamente).

Tabela 4 - Classificação de Resíduos Sólidos. Fonte: Adaptado da NBR-10.004 (ABNT, 2004).

Resíduos Perigosos (Classe I)		Apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, ou apresentem uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, ou constem em listagem de anexos da norma.
Resíduos Não Perigosos (Classe II)	Resíduos Classe IIA (Não Inertes)	Podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém não se enquadram como resíduo I ou IIB.
	Resíduos Classe IIB (Inertes)	Não tem nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Tabela 5 - Resíduos Sólidos, sua classificação e quantidades estimadas pelos Estudos de Impactos Ambientais de geração no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. Fonte: Concremat (2007 (2)) e Mineral Engenharia (2012).

Item	Resíduos sólidos	Classe	Quantidade (kg/ano)
1	Agente Dessecador*	I	50.400
2	Areia/ Brita/ Argila contaminada	I	514.300
3	Borras Oleosas /Torta	I	59.815.120
4	Catalisadores Gastos	I	2.845.276
5	Cinza dos fornos/Escória	I	63.000
6	Filtros Contaminados	I	248.000
7	Pilhas e Baterias	I	620
8	Carvão Ativado	I	33.197
9	Toalha Contaminada	I	12.300
10	Solventes	I	25.200

11	Acumuladores a Base de Chumbo (baterias)	I	512
12	Tambor	I	739
13	Óleo usado/ Hidrocarbonetos/ Óleo Residual	I	284.000
14	Finos de Coque	I	269.565
15	Lâmpadas Fluorescentes	I	2.000
16	Co-catalisadores e Resíduos de Catalisadores	I	400
17	Ácidos	I	(1)
18	Adsorventes	I	6.700
19	Sucata de Polímeros	I	860.000
20	EPIs Contaminados	I	1.200
21	Cartuchos de Impressora	I	240
22	Restos de Tintas	I	1.200
23	Embalagens Contaminadas	I	7.120
24	Plásticos em Geral	IIB	57.800
25	Resina, Polímeros e Peneira Molecular	IIB	5.890.555
26	Isolamento Térmico	IIB	6.840
27	Resíduos de Jardinagem	IIB	18.700
28	Madeira Contaminada	IIB	2.880.000
29	Papel e Papelão	IIB	62.400
30	Sucata Metálica	IIB	302.600
31	Resíduo de PTA	IIB	595.680
32	Vidro	IIB	7.200
33	Resíduos Orgânicos	IIB	660.000
34	Resíduos Não Recicláveis	IIB	36.160
35	Sobras de PET	IIB	20.075
36	Resíduos de PET	IIB	29.200
37	Pó de PET	IIA	730.000
38	Resíduos de Construção Civil	IIA	193.200
39	Materiais Cerâmicos	IIA	18.000
40	Lodo Biológico	IIA	4.363.940

Legenda: (1) Quantidade estimada de resíduo produzida não informada.

*Agente dessecador: ou agente dessecante, utilizado para reduzir a umidade de ambientes. Agente dessecante mais usado é a sílica (Coelho, 2007).

Os Estudos de Impacto Ambiental (Concremat, 2007 (2) e Mineral Engenharia, 2012) dos quais foram retiradas as informações de geração de resíduos não explicitam, infelizmente, qual o tipo de contaminação de cada material que classificam como “contaminado”. Também não estimam a quantidade gerada de “ácidos”. Além disso, mesmo que polímeros possam ser plásticos, os estudos de impacto diferenciam “plásticos em geral” de “resina, polímeros e peneira molecular”.

Os principais resíduos sólidos gerados (ou aqueles gerados em maior número de unidades) são: catalisadores gastos, finos de coque, resinas, membranas moleculares, carvão ativado e lodo oleoso.

As destinações finais propostas pelos EIAs variam entre aterro industrial, aterro sanitário, incineração/coprocessamento e reutilização/reciclagem. Essas informações foram condensadas na Tabela 6. Ao analisar estas possíveis destinações finais, constatou-se que, para destinação em aterros industriais, são previstos 70% dos resíduos gerados no Complexo, aterros sanitários 1%, incineração/coprocessamento 4% e reutilização/reciclagem 10%.

É importante pontuar que os Estudos de Impacto (Concremat, 2007 (2), Mineral Engenharia, 2012) não indicam destinação final para lodos oleosos e biológicos; co-catalisadores e resíduos de catalisadores; sucata de polímeros; ácidos e adsorventes. Além disso, eles pontuam a incineração como uma forma de destinação, particularmente de resíduos Classe I, que não possam ser destinados ao coprocessamento ou a aterros industriais, mesmo sendo esta uma forma de destinação bastante onerosa.

Assim como a quantidade gerada anualmente foi estimada pelos EIAs, as quantidades destinadas a cada tipo de destinação final também foram.

Tabela 6 - Resíduos Sólidos a serem gerados no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro e suas respectivas quantidades e destinações previstas nos Estudos de Impacto Ambiental do Complexo e das Unidades Auxiliares ao Complexo (Concremat, 2007 (2) e Mineral Engenharia, 2012).

Resíduos Sólidos Gerados no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro			Destinações Finais Previstas			
Item	Resíduos sólidos	Classe	Aterro industrial (kg/ano)	Aterro sanitário (kg/ano)	Incineração/ Coprocessamento (kg/ano)	Reutilização/ Reciclagem (kg/ano)
1	Agente Dessecador	I	50.400			
2	Areia/ Grama/ Brita/ Argila Contaminada	I	514.300			
3	Borras Oleosas /Torta ⁽¹⁾	I	51.661.760		12.400	
4	Catalisadores Gastos	I	2.001.815		147.240	696.221
5	Cinza dos fornos / Escória	I	63.000			
6	Filtros Contaminados	I	248.000			
7	Pilhas e Baterias	I	620			
8	Carvão Ativado	I	33.197			
9	Toalha Contaminada	I	12.300			
10	Solventes	I			25.200	
11	Acumuladores a Base de Chumbo (baterias)	I				512
12	Tambor	I				739
13	Óleo Usado / Hidrocarbonetos / Óleo Residual	I				284.000
14	Finos de Coque	I			268.480	1.085
15	Lâmpadas Fluorescentes	I				2.000
16	Co-catalisadores e Resíduos de Catalisadores ⁽²⁾	I				
17	Ácidos ⁽²⁾	I				
18	Adsorventes ⁽²⁾	I				

19	Sucata de Polímeros ⁽²⁾	I				
20	EPIs Contaminados	I	1.200			
21	Cartuchos de Impressora	I				240
22	Restos de Tintas	I			1.200	
23	Embalagens Contaminadas	I			6.000	1.120
24	Plásticos em Geral	IIB	53.000	1.200		3.600
25	Resina, Polímeros e Peneira Molecular	IIB	10.800		107.800	5.771.955
26	Isolamento Térmico	IIB	6.840			
27	Resíduos de Jardinagem	IIB		18.700		
28	Madeira Contaminada	IIB			2.880.000	
29	Papel e papelão	IIB				62.400
30	Sucata Metálica	IIB				302.600
31	Resíduo de PTA	IIB				595.680
32	Vidro	IIB				7.200
33	Resíduos Orgânicos	IIB		660.000		
34	Resíduos Não Recicláveis (materiais de escritório, embalagens, etc.)	IIB		36.160		
35	Sobras de PET ⁽³⁾	IIB				
36	Resíduos de PET ⁽³⁾	IIB				
37	Pó de PET ⁽³⁾	IIA				
38	Resíduos de Construção Civil	IIA		192.000		1.200
39	Materiais Cerâmicos	IIA	18.000			
40	Lodo Biológico ⁽²⁾	IIA				

Legenda: (1) Quantidade de borra oleosa gerada no tratamento de efluentes (8.140.960 kg/ano) não possui destinação final especificada; (2) Resíduos sem destinação final especificada; (3) Destinações finais previstas: incineração, reciclagem e/ou disposição em aterro industrial.

4.1.2. Matriz Base Gerador/Receptor

Como dito anteriormente, o cenário I tem o objetivo de introduzir as cadeias de produtos e resíduos gerados no Complexo Petroquímico para que, a partir desses dados, fosse elaborada a Matriz Base Gerador/Receptor. Esta tem por finalidade apresentar os intercâmbios que podem ser adotados dentro do próprio Complexo, evidenciando as unidades geradoras de cada resíduo e as possíveis unidades receptoras destes como insumos (Quadro 4).

As Unidades de processo geradoras de maior diversidade de resíduos são as de Hidrotratamento, de Pirólise, PTA, PET e de Etilbenzeno. Além destas, os restaurantes, laboratórios e setores administrativos também possuem geração diversificada, mas de resíduos com propriedades distintas dos produzidos áreas produtivas, visto que estas geram, em sua grande maioria, materiais residuais perigosos e/ou não inertes.

A matriz base evidencia grande geração de resíduos nas UPGN e ULUB, porém as mesmas são divididas em sistemas menores e seu Estudo de Impacto não foi claro o suficiente para que permitisse destrinchar cada unidade de processo e seus respectivos resíduos gerados. Dessa forma, essas duas Unidades não puderam ser comparadas com as demais quanto à quantidade de geração.

Na matriz base (Quadro 4) pode-se visualizar que o empreendimento conta com apenas duas unidades receptoras de resíduos, a Unidade de Tratamento de Efluentes e a Unidade de Compostagem de Resíduos Orgânicos.

Conforme apresentado na matriz base (Quadro 4), os efluentes, após tratamento adequado, serão direcionados aos Sistemas de Resfriamento do Complexo, além de o projeto prever também reuso dos efluentes tratados na Casa de Força. O reuso de efluentes tratados para fins menos nobres, ou seja, que não demandam água potável é uma importante alternativa para economia de água, sem comprometer o atendimento a sua demanda. Vale lembrar que a qualidade da água de reuso pode variar em função do uso para que a mesma for destinada.

Foi possível identificar outra sinergia a partir dos resíduos orgânicos oriundos do restaurante, dos resíduos de jardinagem e do lodo biológico proveniente da ETDI. Estes podem ser direcionados à Unidade de Compostagem prevista no projeto. Esta unidade serve para recuperação dos nutrientes dos resíduos orgânicos e do lodo, a fim de transformá-los em um composto orgânico que pode ser reutilizado no próprio local como adubo, visto que o projeto conta com áreas de corredores ecológicos (para manutenção das espécies locais) e com jardins.

A compostagem é vista como uma forma eficiente de reduzir o volume de lixo destinado a aterros sanitários. É importante ressaltar que atualmente cerca de 55% do lixo produzido no país é composto por material orgânico, que sofre soterramento em aterros. Ademais, o produto da compostagem pode ser utilizado na agricultura, o que reduz custos empregados na compra de fertilizantes industrializados (MMA, 2016).

Entretanto, vale o questionamento de como um empreendimento de grande porte como o COMPERJ foi projetado com tão poucas alternativas de reuso, sendo sua concepção elaborada em 2007, época em que a sociedade já mostrava uma crescente consciência ambiental. Diante disso, é possível analisar outras possibilidades de reuso que poderiam ser adotadas dentro do empreendimento âncora, como no caso dos óleos lubrificantes.

4.1.3. Simbiose Industrial a Partir da Matriz Base Gerador/Receptor

Chertow (2000), em sua classificação de Parques Industriais Ecológicos identifica como um dos tipos aquele voltado ao intercâmbio interno de resíduos. A partir da Matriz Base Gerador/Receptor foi possível identificar possíveis intercâmbios já previstos para o interior do Complexo e propor alguns exemplos de novas sinergias.

Usando como exemplo o trabalho de Veiga (2007), é possível destacar ações que propiciem o início de uma rede de SI dentro do COMPERJ.

Como sugestão, caso o Complexo contemplasse uma unidade de armazenamento, tratamento, reciclagem e distribuição de óleos lubrificantes utilizados no processo industrial e em veículos automotores, os mesmos poderiam ser reciclados e reutilizados no próprio empreendimento. Tal unidade poderia ser gerenciada pelo próprio corpo técnico do Complexo, munida de um banco de dados para redistribuição dos subprodutos.

Ou, ao invés de reciclar óleos usados dentro do próprio Complexo, este poderia contemplar um centro de triagem e armazenamento para envio do mesmo a sistemas de reciclagem em outros locais, como o centro de rerrefino existente no município de Duque de Caxias – RJ (Proluminas, 2016).

Uma das formas mais conhecidas de reciclagem de óleos lubrificantes usados é realizada através do seu rerrefino, mesma técnica utilizada em Duque de Caxias. O rerrefino tem por finalidade reconverter óleos usados em um óleo base utilizado na produção de óleos lubrificantes (Canchumani, 2013).

Porém, para uma gestão eficaz de resíduos deve-se compreender sua geração, caracterização (classificação, quantificação, etc.), manuseio, acondicionamento, coleta, transporte, reuso, reciclagem, tratamento e disposição final para aqueles não passíveis de reutilização.

Não foi considerado na Matriz Base, pois a mesma dá enfoque no intercâmbio de resíduos para formação da rede de Simbiose Industrial, entretanto, o Complexo também poderia contar com o reaproveitamento do calor gerado durante a queima de coque para aquecimento de cargas até a temperatura de reação, fornecimento de energia

para as reações endotérmicas de craqueamento, aquecimento do ar de combustão empregado em regeneradores, reposição de perdas de calor de processo e aquecimento de vapor (Concremat, 2007 (2)).

4.2. Cenário II: Identificação de Possíveis Sinergias Regionais

Conforme dito no início do Capítulo, o segundo cenário objetivou a identificação de potenciais sinergias regionais a partir das tipologias industriais identificadas na Área de Influência Regional do estudo.

A partir da Matriz Região Gerador/Receptor é discutida a formação de um sistema de Simbiose Industrial a partir de indústrias não colocalizadas (encontradas numa mesma região, mas não dentro de um mesmo parque industrial).

4.2.1. Delimitação da Área de Influência do Município de Itaboraí

Foi considerada como Área de Influência Regional do empreendimento âncora toda a extensão do município de Itaboraí visto que as indústrias encontram-se espalhadas entre seus distritos.

A apresentação socioeconômica e ambiental do município foi realizada anteriormente no item 3.2.3 deste estudo.

Para determinação das tipologias industriais encontradas na Área de Influência Regional, foi utilizado o Cadastro de Indústrias da FIRJAN (2014) para o Estado do Rio de Janeiro. Os resultados encontrados foram compilados na Tabela 7.

Tabela 7- Principais tipologias industriais identificadas na Área de Influência Regional do estudo – Município de Itaboraí. Fonte: Elaboração própria a partir do Cadastro de Indústrias da FIRJAN (2014).

Tipologias Industriais Município de Itaboraí
Indústria Cerâmica (Olarias)
Mobiliário
Indústria Química
Metalurgia
Produção de Plástico
Produção de Papel e Papelão
Mecânica
Indústria Têxtil
Cimenteiras
Concreteiras

4.2.2. Matriz Região Gerador/Receptor

4.2.2.1. Possíveis Sinergias Estabelecidas em Itaboraí

A

Tabela 5 mostra que uma vasta gama de resíduos deverá ser produzida pelo COMPERJ, variando de sólidos para líquidos e perigosos para inertes. Alguns deles podem ser reciclados quase imediatamente, sendo submetidos a processos de transformação física para sua melhor utilização como insumos em linhas de produção, tais como papel e papelão, garrafas PET e vidros. Entretanto, outros tipos de resíduos necessitam de ações de transformações químicas, tais como plásticos, que também podem sofrer reciclagem física.

A Tabela 8 apresenta os principais resíduos gerados no empreendimento âncora, apresentados na Tabela 5, e todas as suas possíveis destinações, para diferentes tipologias industriais, que poderiam utilizá-los como insumos em seus processos produtivos.

Ao compararem-se as possíveis destinações dos resíduos gerados no Complexo (Tabela 8) com as tipologias industriais presentes no município de Itaboraí (Tabela 7),

foi possível gerar a Matriz Região Gerador/Receptor apresentada no Quadro 5. A matriz mostra os possíveis intercâmbios realizados entre o empreendimento âncora e os principais tipos de indústrias encontrados em Itaboraí.

Tabela 8 - Principais resíduos gerados no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro e seus potenciais receptores industriais. Fonte: Elaboração própria, baseada em COPPE-UFRJ-IBAM (2005); Veiga (2007); US-EPA (1996); Bolsa de Resíduos - FIRJAN (2014); Lucas & Benatti (2008); FIRJAN (2006); Pinho et al. (2013); Romão et al. (2009); Gotardi et al. (2015); Vieira & Monteiro (2006); Concremat (2007 (2)); Canchumani (2013); Lobato (2014).

Principais Resíduos Gerados no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro		Potenciais receptores industriais
1	Agente Dessecador	Não identificado
2	Areia / Brita / Argila Contaminada	Indústria Cerâmica (FIRJAN (2014)), coprocessamento (COPPE-UFRJ-IBAM (2005)*, FIRJAN (2006)), concreteira (COPPE-UFRJ-IBAM (2005), FIRJAN (2006))
3	Borras / Torta	Compostagem (quando provenientes de estações de tratamento, assim como lodo biológico (FIRJAN (2014), Veiga (2007)), coprocessamento (Borras ácidas, oleosas e de estações de tratamento de esgotos (Veiga (2007), FIRJAN (2006)), indústria cerâmica (Vieira & Monteiro (2006))
4	Catalisadores Utilizados	Coprocessamento (Concremat (2007 (2)), Veiga (2007)), recuperação de metais (Concremat, 2007 (2))
5	Cinza dos fornos / Escória	Coprocessamento (Veiga (2007), FIRJAN (2006))
6	Filtros Contaminados	Coprocessamento (FIRJAN (2014))* , recuperação por retrolavagem (US-EPA (1996))
7	Pilhas e Baterias	Reciclagem de baterias (FIRJAN (2014))
8	Carvão Ativado	Indústria Cerâmica (FIRJAN (2014))
9	Toalha Contaminada (estopa)	Coprocessamento (FIRJAN (2014)*, Veiga (2007), FIRJAN (2006))
10	Solventes	(Produção de tintas (Veiga (2007), FIRJAN (2014)), COPPE-UFRJ-IBAM (2005)), coprocessamento (Veiga (2007) e COPPE-UFRJ-IBAM (2005)), reuso/reciclagem (FIRJAN (2014), Veiga (2007))
11	Acumuladores a base de chumbo (baterias)	Reciclagem (FIRJAN (2014))

12	Tambor	Reciclagem (Concremat (2007 (2)), FIRJAN (2006)) e reutilização (FIRJAN (2006))
13	Óleo Usado / Hidrocarbonetos / Óleo Residual	Recuperação (Veiga (2007), Canchumani (2013)), Concremat (2007 (2)), FIRJAN (2014)), coprocessamento (Veiga (2007), COPPE-UFRJ-IBAM (2005), FIRJAN (2014)), concreteira (COPPE-UFRJ-IBAM (2005)), indústria cerâmica (COPPE-UFRJ-IBAM (2005)), mecânica (COPPE-UFRJ-IBAM (2005)), metalurgia (COPPE-UFRJ-IBAM (2005), FIRJAN (2014))
14	Finos de Coque	Coprocessamento (Concremat (2007 (2)), siderurgia (Lobato (2014))
15	Lâmpadas Fluorescentes	Reciclagem (Concremat (2007 (2)), FIRJAN (2014))
16	Co-catalisadores e Resíduos de Catalisadores	Coprocessamento (Lemos & Masson (2013))
17	Ácidos	Metalurgia (COPPE-UFRJ-IBAM (2005))
18	Adsorventes	Não identificado
19	Sucata de Polímeros	Reciclagem (Concremat (2007 (2)))
20	EPIs Contaminados	Coprocessamento (FIRJAN (2006))*
21	Cartuchos de Impressora	Reaproveitamento ou reciclagem (FIRJAN (2014))
22	Restos de Tintas	COPPE-UFRJ-IBAM (2005) e FIRJAN (2014)), reaproveitamento (FIRJAN (2014))
23	Embalagens Contaminadas	Coprocessamento (FIRJAN (2006), Veiga (2007))*
24	Embalagens Plásticas	Reciclagem (FIRJAN (2006 e 2014), Veiga (2007), Concremat (2007 (2))), reutilização (FIRJAN (2006 e 2014), Veiga (2007), Concremat (2007 (2))), reciclagem química para a produção de plásticos (COPPE-UFRJ-IBAM (2005)), Romão et al. (2009)), indústria química (COPPE-UFRJ-IBAM (2005)), indústria têxtil (COPPE-UFRJ-IBAM (2005), Pinho et al. (2013)), reciclagem para obtenção de mobiliário (COPPE-UFRJ-IBAM (2005), FIRJAN (2014)), FIRJAN (2014)), coprocessamento (Concremat (2007 (2)), Veiga (2007)), material eletrônico (Concremat (2007 (2)), Veiga (2007))
25	Resina, Polímeros e Peneira Molecular	Coprocessamento (Concremat (2007 (2)), Veiga (2007))
26	Isolamento Térmico	Não identificado
27	Resíduos de Jardinagem	Compostagem (Concremat (2007 (2)))
28	Madeira Contaminada	Coprocessamento (Concremat (2007 (2))* , FIRJAN (2006 e 2014))

29	Papel e papelão	Coprocessoamento (Veiga (2007)), reciclagem (Veiga (2007), Concremat (2007 (2)), FIRJAN (2014))
30	Sucata metálica	Galvanoplastia (Veiga (2007)), reuso/reciclagem (Concremat (2007 (2)), Veiga (2007), FIRJAN (2014)), metalurgia (Veiga (2007), FIRJAN (2014))
31	Resíduo de PTA	Reciclagem (Concremat (2007 (2))) para produção de plásticos (Concremat (2007 (2)))
32	Embalagens de Vidro	Indústria cerâmica (FIRJAN (2014)), reutilização (Concremat (2007 (2)), FIRJAN (2014))
33	Resíduos Orgânicos	Compostagem (Concremat (2007 (2)), Veiga (2007))
34	Resíduos Não Recicláveis	Coprocessoamento (FIRJAN (2006))*
35	Sobras de PET	Reciclagem (Concremat (2007 (2))), indústria têxtil (COPPE-UFRJ-IBAM (2005), Pinho et al. (2013)), reciclagem química para a produção de plástico (Concremat (2007 (2)), coprocessoamento (FIRJAN, 2006)), concreteiras (Gotardi et al.(2015))
36	Resíduos de PET e Pó de PET	Reciclagem (Concremat (2007 (2))), indústria têxtil (COPPE-UFRJ-IBAM (2005), Pinho et al. (2013)), concreteiras (Gotardi et al.(2015))
37	Efluente Tratado	Reuso nas indústrias
38	Resíduos de Construção Civil	Reaproveitamento (FIRJAN (2006)), concreteiras (Lucas & Benatti (2008))
39	Materiais Cerâmicos	Isolamento térmico (FIRJAN, 2014))
40	Lodo Biológico	Compostagem (FIRJAN (2006), Veiga (2007)), coprocessoamento (FIRJAN (2006), Veiga (2007), COPPE-UFRJ-IBAM (2005)), indústria cerâmica (Lucas & Benatti (2008), Veiga (2007)), concreteiras (Lucas & Benatti (2008), Veiga (2007))
41	Água Ácida	Estação de Tratamento de Efluentes (Concremat (2007 (2)))
42	Efluentes Oleosos Salinos	Estação de Tratamento de Efluentes (Concremat (2007 (2)))
43	Efluentes Oleosos Não Salinos	Estação de Tratamento de Efluentes (Concremat (2007 (2)))
44	Efluentes Não Salinos Oleosos (purga das torres de refrigeração)	Estação de Tratamento de Efluentes (Concremat (2007 (2)))
45	Efluentes Não Oleosos e Não Salinos (efluente unidade de PTA e sanitário)	Estação de Tratamento de Efluentes (Concremat (2007 (2)))

46	Água Bruta Tratada	Reuso nas indústrias
----	--------------------	----------------------

Legenda: *Nem todos os resíduos podem ser coprocessados de acordo com a Resolução CONAMA 264 (MMA, 1999) que regulamenta que, para licenciamento de fornos de coprocessamento, não é permitida a utilização dos seguintes resíduos: domiciliares brutos, de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins e metais pesados.

É de suma importância ressaltar que os processos produtivos considerados como receptores de materiais residuais neste estudo devem dotar de certa flexibilidade processual para que possam incorporar tais matérias como insumos, ou seja, devem ter processos produtivos adequados a fim de capacitá-los a receber materiais residuais como matérias-primas sem que haja perda de capacidade produtiva.

Além disso, todas as possíveis destinações apresentadas neste estudo devem se basear na exata composição dos resíduos, a fim de garantir que seus processos atendam às normas e legislações ambientais vigentes. Toda e qualquer destinação final adotada para um resíduo deve ser reconhecida pelo órgão ambiental e as empresas que as executam licenciadas pelo mesmo para tais fins.

Quadro 5 - Matriz Região Gerador/Receptor. Fonte: Elaboração própria.

Tipologias Industriais	Resíduos Potencialmente Gerados																																																			
	1*	2	3	4	5	6	7*	8	9	10**	11*	12*	13	14	15	16	17	18	19*	20*	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30*	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40*	41*	42	43	44	45*	46*						
Indústria Cerâmica (Olarias)		R	R					R							R						R				R																						R					
Mobiliário													R																																		R					
Indústria Química													R																																			R				
Metalurgia																					R		R																								R					
Produção de Plástico													R											R													R															
Produção de Papel e Papelão																						R																												R		
Mecânica																						R																												R		
Indústria Têxtil													R																																					R		
Coprocessamento/Cimenteira		R	R	R	R	R			R	R			R			R	R	R				R	R						R	R																				R	R	
Concreteira		R											R			R						R																												R		
Estação de Tratamento de Efluentes (do COMPERJ) / Estação de Tratamento de Água Bruta				G												G											G	G																						R		
Compostagem				R												R	R												R																							
COMPERJ	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G		G	G	G	G	G	G	G	G	G	R	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G		

Legenda: G - Gerador do Resíduo; R - Possível receptor do resíduo; G/R - Gerador e receptor do resíduo, (*) Não encontradas referências para receptores, (**) Considerada como estopa contaminada.

Resíduos potencialmente gerados pelo COMPERJ: 1- Agente dessecador; 2- Areia/brita/argila contaminada; 3- Borras/Torta; 4- Catalisadores utilizados; 5- Cinza dos fornos/Escória; 6- Filtros contaminados; 7- Pilhas e baterias; 8- Carvão ativado; 9- Resina, polímeros e peneira molecular; 10- Toalha contaminada; 11- Materiais cerâmicos; 12- Isolamento térmico; 13- Embalagens plásticas; 14- Resíduo de construção civil; 15- Resíduo de jardinagem; 16- Lodo biológico; 17- Solventes; 18- Madeira contaminada; 19- Acumuladores à base de chumbo (baterias); 20- Tambor; 21- Óleo usado/hidrocarbonetos/óleo residual; 22- Papel e papelão; 23- Sucata metálica; 24- Resíduo de PTA; 25- Vidro; 26- Efluentes tratados; 27- Resíduos Orgânicos; 28- Finos de Coque; 29- Embalagens contaminadas; 30- Lâmpadas fluorescentes; 31 Co-catalisadores e resíduos de catalisadores; 32- Resíduos não recicláveis; 33- Resíduos de PET e Pó de PET; 34- Sobras de PET; 35- Efluentes oleosos salinos; 36- Efluentes oleosos não salinos; 37- Efluentes não oleosos e não salinos; 38- Efluentes não salinos

oleosos; 39- Ácidos; 40- Adsorventes; 41- Sucata de polímeros; 42- Água ácida; 43 - Água bruta tratada; 44- EPIs contaminados; 45- Cartuchos de impressoras; 46- Restos de tintas.

A Matriz Região demonstra que 35 dos 46 tipos de resíduos gerados no COMPERJ poderiam ser potencialmente utilizados por indústrias localizadas dentro do município de Itaboraí. As indústrias do município são capazes de receber pelo menos dois resíduos distintos do Complexo como insumos. Óleos usados, embalagens plásticas e lodo biológico oferecem maior potencial para uso.

Os outros 11 tipos de resíduos (agente dessecador, pilhas, materiais cerâmicos, resíduos de isolamento térmico, adsorventes, acumuladores a base de chumbo, tambores, lâmpadas fluorescentes, sucata de polímeros, restos de tintas e cartuchos de impressoras) não encontram em Itaboraí possíveis receptores.

De acordo com a Matriz Região, dentre as 13 tipologias identificadas em Itaboraí, as que possuem capacidade de receber a maior gama de resíduos são a indústria cimenteira, seguida da indústria cerâmica e da produção de concreto (e artigos).

O tipo de indústria que absorve maior gama de resíduos e mais se destaca como receptor é o segmento do cimento, que através do coprocessamento é capaz de receber um total de 19, dos 46 resíduos gerados na âncora. Os resíduos são absorvidos pelas cimenteiras como fonte de energia ou como substituição de matérias-primas.

De acordo com Wimmer (2007), borrachas, pneus e emborrachados, resíduos de biomassa, ceras, **substâncias oleosas, lodos de Estações de Tratamento, resinas, colas, látex, catalisadores usados, madeiras e terras contaminadas e solventes** podem ser utilizados em fornos de clínquer. Dentre os citados, os materiais destacados em negrito são gerados na âncora e, de acordo com a bibliografia (COPPE-UFRJ-IBAM, 2005; Veiga, 2007; Bolsa de Resíduos – FIRJAN, 2014; Concremat, 2007; FIRJAN, 2006), ainda pode-se citar: co-catalisadores e resíduos de catalisadores, cinza de fornos/escória, filtros contaminados, toalhas contaminadas, plásticos em geral, óleos usados, papel e papelão, finos de coque, embalagens contaminadas, resíduos não recicláveis e EPIs contaminados.

É necessário destacar que nem todos os resíduos contaminados podem somente ser coprocessados, de acordo com a Resolução CONAMA 264 (MMA, 1999). Nesta, foi regulamentado que não é permitida a utilização em fornos de coprocessamento dos

seguintes resíduos: domiciliares brutos. De serviços de saúde, radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins, e aqueles que contenham metais pesados. Sendo assim, dependendo da contaminação do resíduo, o mesmo não pode ser empregado como combustível em fornos de cimenteiras.

O coprocessamento reaproveita resíduos com alto poder de queima como combustíveis na indústria de cimento, pois os mesmos permitem o decréscimo da quantidade de combustível demandada pelos fornos de clínquerização (produção de clínquer – mistura aquecida de argila e calcário) devido à necessidade de manutenção de altas temperaturas no interior dos mesmos (Ritter, 2007 *apud* Cunha, 2009). Os resíduos orgânicos são termicamente destruídos e os inorgânicos são inertizados e incorporados à estrutura química do cimento. Nas cimenteiras, o lodo pode ser utilizado em substituição de matérias-primas e é capaz de aumentar a plasticidade e trabalhabilidade do cimento (Veiga, 2007).

Entretanto, é importante ressaltar que, de acordo com a Resolução CONAMA nº 264 de 1999, não é permitida a utilização, em fornos de coprocessamento, dos seguintes resíduos: domiciliares brutos, de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins. Além disso, a CONAMA 264 também regulamenta a concentração máxima de determinados elementos em emissões geradas pelos fornos de clínquer. São destacados os seguintes poluentes com emissões máximas permitidas: ácido clorídrico (HCl), monóxido de carbono (CO), propano (TCH) e metais pesados como Hg, Pb, Cd, TI, As, Be, Co, Cu, Mn, Ni, Sb, Se, Sn, Te, Zn (MMA, 1999). Sendo assim, resíduos contaminados produzidos pela âncora devem ter suas composições analisadas, a fim de que não desrespeitem as exigências ambientais.

Areia (dependendo da sua contaminação) e lodos biológicos podem ser utilizados tanto na produção de cimento, quanto na produção de concreto. Ademais, concreteiras podem fazer uso de resíduos, sobras e pó de PET como insumos, em substituição parcial da areia no seu processo produtivo (Gotardi et al., 2015).

O concreto simples é um material composto por cimento, água, areia (agregado miúdo), pedra (ou brita – agregado graúdo) e ar, sem contar com aditivos químicos ou pigmentos adicionados para melhoria ou modificação de suas propriedades básicas (como impermeabilizantes, por exemplo) (Gotardi et al., 2015).

Estudos recentes da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) mostraram a viabilidade da incorporação de PET triturado em substituição de parte da areia (15%) na formação de blocos de concreto (Gotardi et al., 2015). Os autores estimam que, devido a alta resistência mecânica e química apresentada pelo PET, seus resíduos podem levar mais de 100 anos para se decompor. Dessa forma, devido a estas mesmas características foi constatado que eles possuem boa resistência a compressão e podem ser utilizados na produção de blocos de concreto simples de alvenaria de vedação e lajotas de calçamento para pedestres.

Além disso, Hoppen e colaboradores (2005) realizaram um estudo mostrando a viabilidade de substituição parcial de areia empregada na produção de concreto por lodo proveniente de estações de tratamento de água (até 10% de lodo). O estudo comprovou que a qualidade do concreto era diminuída com a presença do lodo, porém continuava dentro dos padrões aceitáveis pelas normas da construção civil e ajudava a reduzir a disposição final do material residual em aterros.

Outra indústria que merece destaque como receptora de resíduos é a indústria cerâmica, que assim como as indústrias de cimento e concreto possui elevado volume de produção e é capaz de empregar areia e argila contaminadas, lodo biológico, solventes e óleos usados em seu processo produtivo. Além destes materiais, olarias também podem incorporar carvão ativado, vidro e borras oleosas (FIRJAN, 2014; Vieira & Monteiro, 2006).

Nuvolari e Coraucci Filho (2013) *apud* Lucas e Benatti (2008) constataram que lodos biológicos provenientes tanto de sistemas aeróbios, quanto sistemas anaeróbios de tratamento podem ser misturados a solos argilosos em proporção de 10% para produção de massa cerâmica.

Não somente lodo biológico, mas borra oleosa proveniente do setor petrolífero também foi analisada quanto à possibilidade de adição a massa cerâmica por Vieira e Monteiro (2006). Os autores descobriram que a adição não é apenas viável, mas colabora na redução da porosidade e conseqüente melhoria de qualidade da massa cerâmica devido ao alto poder calorífico da borra oleosa.

Lucas e Benatti (2008) apontam as vantagens da incorporação de resíduos na matriz cerâmica como economia de matéria-prima não renovável, obtenção de produtos

com forte apelo ambiental, redução de consumo de energia, etc. Entretanto, tais vantagens podem ser destacadas para a maioria dos processos industriais que possuam flexibilidade para incorporação de materiais residuais.

Na indústria têxtil, a fibra produzida a partir de PET necessita de aproximadamente 30% da energia em comparação à energia necessária para produção de fibra virgem. Ou seja, a reciclagem do PET tanto é vantajosa para diminuição de resíduos dispostos no ambiente, quanto para economia de energia (Pinho *et al.*, 2013).

Óleos lubrificantes degradados não são mais capazes de desempenhar suas finalidades, originando um resíduo perigoso, conforme NBR 10.004, rico em metais pesados, ácidos orgânicos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e dioxinas (ABNT, 2004).

Segundo Bennet (1999 *apud* Veiga, 2007), um galão (3,89 litros) de óleo lubrificante é capaz de contaminar um milhão de galões de água fresca, que atenderiam ao consumo de 50 pessoas durante 1 ano. Dito isso, tem-se uma real proporção da capacidade de contaminação de óleos lubrificantes que possam ser despejados incorretamente no meio ambiente.

O Artigo 33 da Lei 12.305/2010, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) obriga fabricantes, importadores distribuidores e comerciantes a estruturar e implementar sistemas de logística reversa de óleos lubrificantes usados ou contaminados após uso dos consumidores. Antes de a Política ser implementada, a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) 362 de 2005 (MMA, 2005) já estabelecia obrigatoriedade de coleta e reciclagem de óleo usado ou contaminado por meio do processo de rerrefino.

Além de óleos lubrificantes, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) também obriga a implementação de sistemas de logística reversa: “...mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes” de agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e luz mista; produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

No atual cenário de iminente escassez de água, torne-se fundamental a adoção de medidas de reuso que visem sua economia. É possível notar na Matriz Região Gerador/Receptor que todas as tipologias industriais poderiam ser abastecidas com água bruta tratada. Para que isso seja possível, as Unidades de Tratamento de Efluentes e de Água Bruta do Complexo poderiam ser redimensionadas para tratar uma vazão que atenda a outras indústrias e não somente as necessidades da âncora. Contudo, não se pode generalizar e aceitar que a qualidade da água tratada no COMPERJ atenda a todas as tipologias ou a todas as etapas dos mais variados processos produtivos. Sendo assim, para alguns casos, a água tratada ainda deveria passar por outras formas de tratamento antes de chegar a seu destino final.

4.2.3. Sugestões para Estabelecimento de uma Simbiose Industrial a Partir da Matriz Região Gerador/Receptor

Como o objetivo geral deste estudo é a implementação de uma rede de Simbiose Industrial a partir do COMPERJ, a Matriz Região Gerador/Receptor demonstra a viabilidade de estabelecimento, em termos potenciais, de uma rede de troca de resíduos, elemento básico para configuração de um sistema de SI.

Como visto na Tabela 7, o município de Itaboraí conta diferentes ramos de empresas, o que facilita o desenvolvimento de parcerias entre os geradores e os consumidores de resíduos. A proximidade entre as empresas também é um fator preponderante que poderá otimizar o fluxo de massa entre os envolvidos, assim como a formação de recursos humanos especializados no aproveitamento de resíduos sólidos industriais.

Uma Simbiose Industrial formada a partir de indústrias não limitadas fisicamente, como ocorreu em Kalundborg, oferece maior facilidade na adesão de novos parceiros regionais, visto que os mesmos não precisam alterar sua localização atual para serem inseridos no sistema.

De acordo com a literatura (Chertow, 2007), possuem maiores chances de sucesso as redes iniciadas a partir de iniciativas do setor privado, em busca de maior

rentabilidade, competitividade no mercado e a fim de atender a pressões regulatórias de conservação do meio ambiente.

Dessa forma, pode-se considerar que a iniciativa da formação da rede em referência deveria partir da administração do COMPERJ e, ao serem formadas as primeiras parcerias, seria formado um conselho de gerenciamento, como o *Symbiosis Institute*, de Kalundborg, para auxílio no desenvolvimento dos negócios e na formação de novas sinergias.

Seria interessante que o COMPERJ, dotado como empreendimento âncora, a fim de expandir as possibilidades de parcerias e reduzir impactos ao meio ambiente, tivesse sua capacidade expandida de armazenamento, tratamento e distribuição de água e efluentes. Podendo também sediar centrais de armazenamento, tratamento (para redução da periculosidade) e reciclagem de resíduos.

Acumuladores a base de chumbo, papel e papelão, óleos usados, sucata de polímeros, solventes, lâmpadas fluorescentes, embalagens plásticas, sucata metálica, entre outros apresentados na Tabela 8, dependem, na maioria dos casos, de alguma da existência de uma empresa de reciclagem especializada e licenciada para que possam ser recuperados.

Dito isso, pode-se destacar a possibilidade de construção de uma Central de Armazenamento, Tratamento e/ou Reciclagem de Resíduos nele, que centralize os resíduos para tratamento, realize a reciclagem de alguns, como papel e papelão, e a partir da qual, os materiais tratados possam ser retirados para alimentação de seus respectivos receptores.

Caso o COMPERJ realmente contasse com uma central de armazenamento, tratamento e/ou reciclagem e distribuição de resíduos, a mesma poderia atender não somente ao Complexo, mas também às indústrias do entorno que dessem origem a resíduos similares aos que a central se destinasse a tratar.

Além disso, a iniciativa poderia atrair para região outras indústrias, interessadas na compra de subprodutos (resíduos que passam a servir como insumos) mais baratos, expandindo o escopo do PIE. Este, também poderia ser beneficiado ao consumir possíveis subprodutos gerados nas indústrias que ali se instalassem.

Ademais, a Estação de Tratamento de Efluentes do Complexo poderia ser redimensionada, levando em consideração que há terreno disponível na área destinada ao Complexo, para atendimento comum a outras indústrias da região que necessitem de água para resfriamento, por exemplo. Essa medida aumenta as possibilidades de reuso para efluentes tratados, ajuda na redução de lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos, melhorando sua qualidade, reduz a necessidade de captação de água potável para usos não nobres, entre outros fatores.

Dessa forma, o COMPERJ teria ganhos econômicos, sociais e ambientais a partir da redução da demanda de matérias-primas virgens (mais caras), da redução de gastos com a disposição final de materiais residuais, da melhor imagem que passa ao público devido a sua preocupação ambiental por reduzir o descarte de resíduos, sendo a metade destes, resíduos perigosos. O meio ambiente ainda ganharia com a redução de sua poluição. Tais iniciativas também contribuiriam para uma maior geração de empregos, visto que seria necessária mão de obra para Central de Resíduos e para administração das sinergias.

A criação de um banco de dados a partir dos resíduos produzidos pelo COMPERJ seria imprescindível para que os receptores tivessem acesso à oferta dos mesmos, facilitando o estabelecimento de sinergias.

O banco de dados seria alimentado com importantes informações como, primeiramente, a classificação e composição de cada resíduo, para que os receptores se certificassem que os mesmos poderiam atender suas especificações de insumos satisfatoriamente em comparação a matérias-primas virgens.

Além disso, deveriam ser divulgadas quantidades e frequência de geração de cada resíduo pelo Complexo para que os receptores analisassem o quanto suas demandas poderiam ser atendidas e se a parceria seria realmente vantajosa.

Por exemplo, na

Tabela 5, que informa a quantidade estimada de resíduos gerados, verifica-se que borras oleosas/torta, lodo biológico, catalisadores utilizados e madeira contaminada

possuem as maiores quantidades geradas por ano. Dessa forma, tais materiais residuais podem ser oferecidos com folga para uma maior diversidade de indústrias.

Futuramente, o banco de dados poderia servir para que os receptores, que não deixam de ser geradores de seus próprios resíduos, pudessem publicar também seus materiais residuais e expandir a rede de trocas.

Dessa forma, a Simbiose poderia se tornar com o tempo num PIE, caso uma rede densa de sinergias seja realmente formada, tornando-se mais complexa e envolvendo, além de uma gestão compartilhada de resíduos, o compartilhamento de mão de obra e serviços.

É imprescindível à implementação de uma Simbiose Industrial, efetivada com o futuro Eco-Parque, a partir do COMPERJ, que seja realizado um levantamento dos interesses público e privado em cooperar, seja no fornecimento de opções de financiamento e incentivos fiscais por parte do governo, ou por flexibilização de processos produtivos e abertura ao compartilhamento de informações por parte das empresas. Estas ações contribuiriam significativamente para o sucesso do sistema.

Somado as ações anteriores, devem ser realizadas análises econômicas, técnicas, ambientais e de regulamentações regionais (do município de Itaboraí) entre os segmentos interessados. Dessa forma, quando os segmentos estiverem cientes dos benefícios potenciais que os intercâmbios podem lhes oferecer, facilita-se a alocação dos recursos humanos e materiais necessários ao real estabelecimento das parcerias.

As análises técnicas referem-se justamente à flexibilização da produção dentre as empresas incorporadas ao sistema de SI, diante da necessidade de identificação de tecnologias ambientais disponíveis e da adequação das indústrias aos parâmetros ambientais desejados (constantemente reforçada pelo estabelecimento de novas restrições ambientais).

Lembrando que este estudo foi feito baseado em de estimativas e não conta com a quantidade e qualidade real dos materiais considerados e que muitos outros subprodutos podem surgir após o estabelecimento do empreendimento.

4.3. Cenário III: Identificação de Possíveis Sinergias Inter-Regionais

A fim de constatar que Simbioses Industriais e PIEs virtuais, conforme a literatura, oferecem uma maior gama de receptores para os materiais residuais, foi delimitada uma Área de Influência Inter-Regional a partir do EIA do COMPERJ e criada uma Matriz Inter-Região Produtor/Receptor para a Área considerada.

4.3.1. Delimitação da Área de Influência Inter-regional

Conforme abordado no Capítulo 3, a área estratégica do empreendimento está dividida no EIA (Concremat, 2007 (2)) em Áreas: de Abrangência Regional – municípios de Guapimirim, Tanguá, Maricá, São Gonçalo, Cachoeiras de Macacu; Niterói, Rio Bonito, Magé, Silva Jardim e Casimiro de Abreu; de Influência Indireta – 17 municípios do Rio de Janeiro; de Influência Direta – municípios interceptados num raio de 20 km do centro de gravidade do sítio do COMPERJ (São Gonçalo, Tanguá, Rio Bonito, Magé e Itaboraí); Diretamente Afetada – municípios interceptados num raio de 10 km do centro de gravidade do COMPERJ (Itaboraí, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu e Tanguá).

Como áreas de influência inter-regional deste estudo, foram consideradas as de influência direta e diretamente afetadas, caracterizadas pelo Estudo de Impactos do Complexo Petroquímico, abrangendo em conjunto os municípios de São Gonçalo, Tanguá, Rio Bonito, Magé, Itaboraí, Guapimirim e Cachoeiras de Macacu. Dessa forma, são apresentadas abaixo as principais características socioeconômicas dos mesmos para estabelecimento de possíveis sinergias com o empreendimento âncora. Lembrando que o município de Itaboraí foi apresentado detalhadamente no Capítulo 3, por ser o local escolhido para implantação do empreendimento âncora.

Dentre os municípios considerados, apenas Guapimirim, Itaboraí, São Gonçalo e Tanguá são pertencentes à Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ).

De acordo com o Banco de Dados Agregados do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (IBGE, 2016), a maior população residente, de acordo com o ano de 2007, encontra-se em São Gonçalo, assim como o maior PIB e número de indústrias de transformação (correspondente a aproximadamente 5% das indústrias de

transformação do Estado do Rio de Janeiro). Em contrapartida, Tanguá apresenta menor população residente (28.322 pessoas), menor PIB (R\$ 456.243.000) e parque industrial.

Conforme Revisão do Zoneamento Industrial da RMRJ (COPPE-UFRJ-IBAM, 2005), Guapimirim e Itaboraí possuem participação média das indústrias nas economias locais, com predominância das indústrias de papel, papelão, gráfica; e de minerais não metálicos (ceramista) de pequeno porte, respectivamente. São Gonçalo, como pôde ser observado acima, apresenta alta participação das indústrias na economia local, com predominância da indústria química, seguida da indústria da construção civil, com razoável diversificação de atividades. Já no caso de Tanguá, a participação de indústrias na economia é baixa.

Fora os municípios pertencentes à RMRJ, encontram-se Rio Bonito, Magé e Cachoeiras de Macacu, cujas participações de indústrias na economia serão apresentadas na Tabela 9, onde estão resumidas as principais tipologias industriais encontradas na área de influência inter-regional deste estudo, segundo informações obtidas a partir do Cadastro de Indústrias da FIRJAN (2014).

Tabela 9 - Principais tipologias industriais encontradas nos municípios de Itaboraí, São Gonçalo, Tanguá, Rio Bonito, Magé, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu. Fonte: Elaboração própria.

Tipologias Industriais	Presença						
	Itaboraí	São Gonçalo	Tanguá	Rio Bonito	Magé	Guapimirim	Cachoeiras de Macacu
Indústria Cerâmica (Olarias)	X	X	X	X			X
Mobiliário	X	X		X	X	X	
Produção de tintas, vernizes, esmaltes e lacas		X					
Marmoraria		X	X	X	X	X	X
Indústria Química	X	X			X		
Indústria Farmacêutica		X				X	
Metalurgia	X	X		X		X	
Produção de Plástico	X	X			X		
Produção de Papel e Papelão	X	X		X	X	X	X
Produção de Artigos		X		X			

de Vidro							
Produção de Material Bélico					X		
Mecânica	X	X	X	X	X	X	
Mineração		X	X	X	X		
Produção de Solventes		X					
Estação de Tratamento de Água						X	
Centros de Reciclagem/Recuperação/Reutilização		X					
Produção de Isolamento Térmico, Acústico, Vibração		X					
Recuperação de Pneus		X					
Indústria Têxtil	X	X					
Coprocessamento/Cimenteira	X	X		X	X		
Concreteiras	X	X	X		X		
Material Eletrônico	X	X					

4.3.2. Matriz Inter-região Gerador/Receptor

4.3.2.1. Possíveis Sinergias Estabelecidas na Inter-região

Para elaboração do terceiro cenário foi desenvolvida a Matriz Inter-região Gerador/Receptor (Quadro 6) que expõe os resíduos gerados no Complexo e seus usos potenciais como matérias-primas por tipologias industriais encontradas numa área de influência inter-regional. Ou seja, neste cenário não considerou-se somente o município de Itaboraí como região passível de sinergias com o COMPERJ, mas expandiu-se o cenário para outras regiões do entorno.

Levando-se em consideração os materiais residuais e seus possíveis receptores, apresentados na Tabela 8, e comparando-os com as tipologias industriais identificadas para Área de Influência Inter-regional deste estudo, desenvolveu-se a Matriz Inter-região Gerador /Receptor (Quadro 6).

De acordo com a Matriz Inter-região (Quadro 6), demonstra-se que 41 dos 46 tipos de resíduos gerados no COMPERJ poderiam ser potencialmente utilizados por

indústrias localizadas na Área de Influência Inter-regional, contra 35 resíduos que poderiam ser utilizados por indústrias localizadas somente no município de Itaboraí.

Novamente assume-se que os processos industriais das indústrias receptoras sejam flexíveis o suficiente para incorporar resíduos como matérias-primas.

Quando acrescentadas as tipologias industriais da Área de Influência Inter-regional considerada, são adicionadas 32 novas sinergias para 22 tipos de resíduos diferentes, inclusive para catalisadores gastos, que são os materiais com maior capacidade de oferta, por apresentarem maior quantidade anual gerada na âncora.

No total, levando em consideração reciclagem, tratamento de água e as novas tipologias industriais receptoras seriam possíveis 98 intercâmbios para o cenário III, contra 63 do segundo cenário.

De acordo com a Matriz Inter-região (Quadro 6) também observam-se que existem tipologias presentes no entorno do empreendimento âncora que não podem fazer uso de nenhum resíduo do COMPERJ como insumo, a não ser água bruta tratada, são elas: marmoraria, produção de material bélico, mineração e recuperação de pneus.

Das 22 tipologias industriais identificadas na Área de Influência Inter-regional, 16 podem receber pelo menos dois tipos de materiais residuais gerados na âncora. Dentre as 16, as tipologias que recebem maior diversidade de resíduos são: centrais de reciclagem/recuperação, cimenteiras, olarias e concreteiras.

Além de maior diversidade de tipologias industriais receptoras, a Área de Influência Inter-regional apresenta centros de reciclagem/recuperação de materiais residuais em São Gonçalo.

Ao avaliar a capacidade de reuso de resíduos, é imprescindível que se conte com Unidades de Reciclagem/Recuperação que os tratem, a fim de transformá-los em materiais passíveis de utilização.

Quadro 6 - Matriz Inter-região Gerador/Receptor. Fonte: Elaboração própria.

Tipologias Industriais	Resíduos Potencialmente Gerados																																																								
	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10**	11	12*	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40*	41	42	43	44	45	46											
Indústria Cerâmica (Olarias)		R	R					R							R					R					R																						R										
Mobiliário													R																																			R									
Produção de tintas, vernizes, esmaltes e lacas																R																																R									
Marmoraria																																																	R								
Indústria Química													R																																				R								
Indústria Farmacêutica																																																		R							
Metalurgia																					R		R																								R				R						
Produção de Plástico													R											R																										R							
Produção de Papel e Papelão																							R																											R							
Produção de Artigos de Vidro																										R																									R						
Produção de Material Bélico																																																				R					
Mecânica																							R																													R					
Minação																																																					R				
Produção de Solventes																	R																																				R				
Estação de Tratamento de Água																												G																										G			
Centros de Reciclagem/ Recuperação				R		R	R		R				R	R			R			R	R	R	R	R	R	R	R				R																		R		R		R		R		
Produção de Isolamento Térmico, Acústico, Vibração												R																																										R			
Recuperação de Pneus																																																						R			
Indústria Têxtil													R																																								R		R		
Coprocessamento/Cimenteira		R	R	R	R	R				R			R			R	R	R				R	R							R	R																						R		R		
Concreteira		R												R		R																																						R			

Quadro 6 - Matriz Inter-região Gerador/Receptor. Fonte: Elaboração própria. Quadro 6 (continuação) – Matriz Inter-região Gerador/Receptor. Fonte: Elaboração própria.

Tipologias Industriais	Resíduos Potencialmente Gerados																																																	
	1*	2	3	4	5	6	7*	8	9	10**	11	12*	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31*	32	33	34	35	36	37	38	39	40*	41	42	43	44	45	46				
Estação de Tratamento de Efluentes (do COMPERJ) / Estação de Tratamento de Água Bruta			G												G												G	G										R	R	R	R				R					
Material Eletrônico													R				R				R																													
Compostagem			R												R	R												R																						
COMPERJ	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G		G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	R	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	

Legenda: G - Gerador do Resíduo; R - Possível receptor do resíduo; G/R - Gerador e receptor do resíduo, (*) Não encontradas referências para receptores, (**) Considerada como estopa contaminada.

Resíduos potencialmente gerados pelo COMPERJ: 1- Agente dessecador; 2- Areia/grama/brita/argila contaminada; 3- Borras oleosas/ Torta; 4- Catalisadores gastos; 5- Cinza dos fornos/Escória; 6- Filtros contaminados; 7- Pilhas e baterias; 8- Carvão ativado; 9- Resina, polímeros e peneira molecular; 10- Toalha contaminada; 11- Materiais Cerâmicos; 12- Isolamento térmico; 13- Plásticos em geral; 14- Resíduo de construção civil; 15- Resíduo de jardinagem; 16- Lodo biológico tratado; 17- Solventes; 18- Madeira contaminada; 19- Acumuladores à base de chumbo (baterias); 20- Tambor; 21- Óleo usado/hidrocarbonetos; 22- Papel e papelão; 23- Sucata metálica; 24- Resíduo de PTA; 25- Vidro; 26- Efluentes tratados; 27- Resíduos Orgânicos; 28- Finos de Coque; 29- Embalagem contaminada; 30- Lâmpadas fluorescentes; 31 Co-catalisadores e resíduos de catalisadores; 32- Resíduos não recicláveis (materiais de escritório, embalagens, etc.); 33- Sobras de PET e Pó de PET; 34- Resíduos de PET; 35- Efluentes oleosos salinos; 36- Efluentes oleosos não salinos; 37- Efluentes não oleosos e não salinos (efluente PTA e sanitário); 38- Efluentes não salinos oleosos (purga das torres de refrigeração); 39- Ácidos; 40- Adsorventes; 41- Sucata de polímeros; 42- Água ácida; 43 - Água bruta tratada; 44- EPIs contaminados; 45- Cartuchos de impressoras; 46- Restos de tintas.

A reciclagem de plásticos, por exemplo, permite o desenvolvimento de novos materiais a partir de misturas que conseguem agregar valor ao material. Em especial, o poli(tereftalato de etileno) (PET) tem encontrado na reciclagem possibilidades de aplicações, tais como a produção de cordas, fios, carpetes, embalagens alimentícias (dependendo do grau de descontaminação), etc. (Romão *et al.*, 2009; Pinho *et al.*, 2013).

Outros resíduos, como catalisadores utilizados, por exemplo, considerados como resíduos inflamáveis e tóxicos pela norma ABNT NBR 10.004 de 2014 (ABNT, 2004) podem ser direcionados a centrais de recuperação de metais.

Os catalisadores utilizados no processo de craqueamento catalítico possuem metais em sua composição para remoção de metais presentes na carga de alimentação das unidades, como vanádio e níquel (Pereira, 2009 *apud* Lemos & Masson, 2013). Estes perdem eficiência devido à abrasão, acúmulo de coque nos sítios catalíticos, deposição de metais, entre outros (Corradi, 2008 *apud* Lemos & Masson, 2013).

Lemos & Masson (2013), relatam que, no ano de 2013, eram geradas cerca de 40.000 toneladas/ano de catalisadores gastos (esgotados, ou exauridos) em operações de refino de petróleo, no Brasil. Destas, 60% eram direcionadas ao coprocessamento. Dessa forma, os autores, a fim de recuperar metais de alto valor agregado que compõem os catalisadores, apresentaram técnicas de recuperação. As técnicas lixiviação atmosférica, lixiviação ácida (sulfúrica e clorídrica) e extração de metais por solvente se mostraram capazes de recuperar lantânio, cério, vanádio e níquel dos catalisadores esgotados. Os autores ainda ressaltam que os resíduos que restam após a recuperação ainda podem ser direcionados ao coprocessamento.

Quando os catalisadores gastos material não possuem capacidade para serem recuperados, ou quando forem contaminados por hidrocarbonetos ou enxofre, os mesmos pode ser utilizados diretamente em fornos de coprocessamento (Concremat, 2007 (1)).

Solventes utilizados em indústrias podem contar uma grande variedade de compostos químicos fazendo com que alguns deles possam ser reutilizados diretamente

por indústrias que não exijam solventes de alta qualidade, e fazendo com que outros devam ser tratados para posterior reutilização (Veiga, 2007).

Existem no Brasil empresas responsáveis pela reciclagem de solventes, porém, visando uma simbiose industrial entre a âncora e as indústrias da Área de Influência Inter-Regional, pode-se pensar numa central de reciclagem de solventes que atenda a todos. Para que os solventes sejam reciclados são necessárias análises laboratoriais para determinação de sua composição a fim de comprovar a viabilidade de sua recuperação (Veiga, 2007).

Fora as cimenteiras encontradas na Área de Influência Inter-regional, em Itaboraí, São Gonçalo, Rio Bonito e Magé (conforme Tabela 9), o município de Cantagalo, localizado a cerca de 130 km do COMPERJ é reconhecido como pólo de indústrias de fabricação de cimento. Sendo assim, poderia receber materiais excedentes não absorvidos pelas indústrias do entorno (Concremat, 2007 (2)).

Não foram encontradas referências de possíveis receptores de agente dessecador, resíduos de isolamento térmico, pilhas e adsorventes.

4.3.3. Sugestões para Estabelecimento de uma Simbiose Industrial a partir da Matriz Inter-região Gerador/Receptor

Conforme exposto, este cenário é um exemplo de início de formação do quinto tipo de PIE identificado por Chertow (2000), aquele estabelecido entre empresas organizadas virtualmente, ou seja, que não estão situadas em uma mesma região, mas espalhadas em regiões diferentes.

Pode-se destacar como vantagem de uma simbiose formada neste cenário a economia de custos com a mudança de sítios das indústrias, visto que elas podem permanecer em seus municípios e mesmo assim estabelecer sinergias que as favoreçam. Outra vantagem é a adesão de pequenas empresas que podem ser atendidas por transporte rodoviário.

A principal desvantagem deste tipo de PIE é a impossibilidade de compartilhamento de alguns recursos, como energia e mão-de-obra, devido à distância entre as empresas.

Neste caso, é fundamental a criação de um banco de dados georreferenciado, assim como foi feito no PIE Virtual do Triangle J. (KINCAID, 1999), que centralize as ofertas de geradores e demandas de receptores, as quantidades geradas ou demandadas, a classificação e principais componentes dos subprodutos.

Dessa forma, a identificação de possíveis intercâmbios é facilitada. O sistema georreferenciado também auxilia na localização espacial dos envolvidos para análise de rotas e custos de transporte de acordo com as distâncias, visto que este é um aspecto que deve ser bem analisado para não se tornar uma barreira ao sucesso da SI organizada virtualmente.

É importante tanto para Simbioses formadas dentro de uma mesma região quanto entre diferentes localidades que sejam realizados seminários, workshops, reuniões, que contem com a participação de todas as entidades envolvidas (empresas, instituições governamentais e não governamentais, universidades, comunidade) para que todos estejam a par das vantagens e para que ganhem confiança na adesão e cooperação com o sistema.

A partir desses eventos, pode ser criado um conselho de representantes de cada setor que acompanhe a implantação do projeto e garanta que seus interesses sejam atendidos.

Para que esse cenário se torne real, é importante a participação de órgãos governamentais de fomento e incentivo ao estabelecimento de novos empreendimentos nas regiões.

4.4. Atração de Novos Parceiros

Além dos benefícios sociais, econômicos e ambientais obtidos pelas indústrias já estabelecidas, outras oportunidades de reaproveitamento podem surgir a partir do estabelecimento de novos empreendimentos que ofereçam ou demandem tanto subprodutos, como serviços.

A implementação das abordagens propostas pode trazer ganhos ao município de Itaboraí e seus vizinhos, através da expansão de sua base tributária com o reaproveitamento de subprodutos, geração de empregos e atratividade de empresas; à pesquisa acadêmica, visto a necessidade de flexibilização de processos produtivos para utilização dos subprodutos como insumos; às empresas geradoras e receptoras, já que reduzem custos com destinação final de resíduos, aumentam suas receitas com a venda de subprodutos ou com a compra destes em comparação a compra de matérias primas virgens e melhoram suas imagens no mercado. Sem contar com os ganhos da sociedade graças à geração de novos empregos e a redução da poluição.

A existência de resíduos que ainda não encontraram possíveis receptores (como adsorventes, agentes dessecadores, resíduos de isolamento térmico) pode desencadear a criação de intercâmbios com outras plantas localizadas fora da Área de Influência Regional ou Inter-regional consideradas, que poderiam fomentar o aparecimento de novos tipos de sinergias.

Resíduos com apenas um receptor identificados nas Matrizes também podem atuar como atrativos para novos intercâmbios, como: carvão ativado, materiais cerâmicos, finos de coque, embalagens contaminadas, entre outros.

É interessante ressaltar que podem surgir novas possibilidades de intercâmbios após o real estabelecimento da âncora, pois outros resíduos poderão ser gerados e não foram considerados nos Estudo de Impactos Ambientais do Complexo (Concremat, 2007 (2), Mineral Engenharia, 2012). Como exemplo, pode-se avaliar a grande circulação de carros e caminhões prevista para a área do empreendimento, a presença de uma oficina mecânica no mesmo, e a possibilidade de troca de pneus no local. Pneus inteiros ou em partes são outros tipos de materiais residuais (borrachas) que podem servir como insumo em cimenteiras, concreteiras, olarias e podem ser destinados ou

vendidos para oficinas de recuperação de pneus, presentes em São Gonçalo, por exemplo.

Outra sinergia que poderia ser considerada é a parceria da rede de simbioses com serviços de coleta seletiva. Esta sinergia faria com que as empresas separassem seus resíduos de acordo com suas composições.

Centrais e galpões de triagem de resíduos são adotados para triagem dos materiais coletados. Esta triagem poderia ocorrer a partir de uma central comum às empresas participantes da rede de SI, podendo ser implementada no próprio COMERJ, em Itaboraí, ou em algum dos municípios considerados no terceiro cenário. Após a triagem, os materiais seriam vendidos a empresas de reciclagem integrantes da SI, visto que cada tipo de resíduo tem um processo específico de reciclagem (MMA, 2016).

Vale lembrar que este trabalho não considerou os resíduos gerados pelas tipologias industriais abordadas e que os balanços de massa do COMPERJ devem ser aprimorados, visto que a qualidade e quantidade dos materiais residuais não podem ser efetivamente determinadas antes do real estabelecimento do empreendimento. Devido a isso, a análise ainda pode ser bastante enriquecida e, conseqüentemente, a proposta de instalação da Simbiose ainda pode ser muito fortalecida.

Capítulo 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho objetivou evidenciar a potencialidade que grandes empreendimentos, como o COMPERJ, podem apresentar para a aplicação de ferramentas de Ecologia Industrial: Simbioses Industriais e Parques Industriais Ecológicos. Para isso, foram criados cenários de desenvolvimento de redes de sinergias e feitas sugestões para compartilhamento de resíduos e infraestruturas, utilizando o COMPERJ como âncora e, até o momento, único fornecedor de materiais residuais a rede.

A partir da revisão bibliográfica sobre Ecologia Industrial, PIEs e SIs pôde ser vista a potencialidade de sua atuação na gestão de resíduos e consequentes ganhos nas esferas econômica, social e ambiental. Casos reconhecidos internacionalmente, como o da Simbiose Industrial de Kalundborg e do Parque Industrial Ecológico Triangle J ajudaram a embasar e fortalecer a abordagem. Infelizmente, no Brasil, ainda não temos exemplos que compartilhem do mesmo sucesso.

Por outro lado, algumas barreiras como: falta de comunicação e confiança entre os representantes das indústrias locais e regionais, a carência de dados sobre os resíduos que podem ser reutilizados, os baixos custos para disposição final dos mesmos, as distancias entre as empresas e a ausência de um governo a representativo podem estar dificultando a divulgação e desenvolvimento dos conceitos de SI e PIE. Deste modo fica evidente, que a divulgação de informações, principalmente sobre casos onde os PIE foram implementados com sucesso é de extrema necessidade. Os mesmos serviriam como modelos a serem seguidos, possibilitando a intensa divulgação dos conceitos de SI e PEI.

A análise do processo produtivo do COMPERJ possibilitou o entendimento de sua geração de resíduos e a criação dos cenários a partir de intercâmbios dos mesmos. Os cenários elaborados demonstraram que é possível o estabelecimento de sistemas de Simbiose Industrial. Além disso, comprovaram que, conforme o aumento da complexidade do sistema, desde sinergias adotadas num mesmo empreendimento a sinergias adotadas entre municípios diferentes, maiores tornam-se as chances de formação de parcerias entre empresas. Tal fato se deve a maior diversidade de

receptores de resíduos como insumos, diante da expansão da área de influência adotada para o sistema de Simbiose Industrial.

O gerenciamento eficaz de resíduos é uma importante forma de redução de custos na indústria petrolífera, podendo ajudar o Brasil a se alinhar novamente ao mercado internacional de petróleo.

A partir do Cenário I, é possível notar que o projeto do empreendimento prevê apenas duas alternativas de reutilização/reciclagem de resíduos, que poderiam ser empregados novamente no processo produtivo do Complexo. Sendo assim, desde o primeiro cenário já é proposta a adoção de uma central de armazenamento, distribuição e reciclagem de resíduos, a fim de atender o Complexo e melhorar seu aproveitamento de materiais residuais.

O segundo cenário apresentou uma primeira expansão na área de influência do sistema, passando de sinergias formadas dentro de um empreendimento (Cenário I), para aquelas estabelecidas entre indústrias de uma mesma região. Com isso, foi possível encontrar 63 possibilidades de intercâmbios de resíduos entre o empreendimento âncora e as tipologias industriais presentes no município de Itaboraí.

Já no Cenário III, após a expansão da área de influência de regional, para inter-regional, as possibilidades de intercâmbios aumentam de 63 para 98, alcançando o objetivo secundário deste trabalho.

Lembrando que todas as destinações finais consideradas neste estudo devem se basear na composição real de cada resíduo, se comprometer a tratar o material com tal composição e ser reconhecida e licenciada pelo órgão ambiental responsável para tal fim.

Além disso, foi discutido como um sistema de SI pode se tornar, com o tempo e aumento de sua complexidade, em um Parque Industrial Ecológico. Porém este não possui uma única forma ou um padrão a ser seguido e depende do interesse e comprometimento dos participantes.

Também foi possível apresentar dificuldades enfrentadas para o estabelecimento das sinergias. Como no terceiro cenário que, mesmo apresentando maior diversidade de sinergias, envolve de forma mais restritiva pré-requisitos importante ao estabelecimento

de SIs, como custos de transporte de materiais residuais diante da maior distância entre os participantes. Além disso, deve-se sempre atentar para regulamentações fiscais e ambientais, que podem variar entre diferentes municípios.

Espera-se contribuir com a literatura, a partir dos resultados apresentados, como uma abordagem analítica capaz de demonstrar que os conceitos da Ecologia Industrial ganham força com o passar dos anos e devem ser considerados com maior frequência e aceitação em propostas governamentais e ações empresariais. Principalmente em grandes empreendimentos, como aqueles destinados ao Setor Petroquímico, como o COMPERJ.

Durante a elaboração do estudo, o COMPERJ foi submetido a alterações em sua configuração e finalidade, a Petrobras foi envolvida em escândalos, ocasionando na paralisação de suas obras. Tal fato dificultou o levantamento de informações a respeito do empreendimento e a construção das matrizes, visto que muitos estudos que poderiam ser elaborados neste intuito foram descontinuados. Entretanto, devido a falta de definição se o Polo Petroquímico ainda será construído, ou se até mesmo as refinarias serão inauguradas, decidiu-se manter esta pesquisa em cima do projeto proposto inicialmente pela Petrobras.

Esta pesquisa poderia ser considerada futuramente, caso a construção do Complexo seja retomada, visto que o local poderia se transformar num importante polo industrial. A partir de pesquisas neste âmbito, poderia se reduzir impactos ambientais na área e tornar as ações mais sustentáveis.

Deve-se destacar que as matrizes apresentadas neste estudo representaram cenários de potenciais sinergias. Para sua real implementação e consolidação seriam necessários estudos adicionais que abordassem, por exemplo, a quantificação dos potenciais fluxos, a verificação da composição dos materiais residuais, a fim de saber se os mesmos poderiam ser reutilizados *in natura*, ou se necessitariam de algum tipo de tratamento prévio, dentre outros.

É muito importante enfatizar que neste estudo não foram considerados os resíduos gerados por cada tipologia industrial identificada e como estes poderiam ser utilizados como matéria-prima em outros processos produtivos. Este seria um importante levantamento a ser elaborado, a fim de avaliar todas as possibilidades de

interações que podem existir. Com a identificação das novas sinergias, o cenário da Simbiose Industrial estaria completo.

Como proposta de abordagens futuras, considera-se as seguintes possibilidades:

- Levantamento dos resíduos gerados nas indústrias das Áreas de Influência Regional e Inter-regional e estabelecimento das sinergias que possam haver entre elas;
- Proposta de substituição da Área de Influência Inter-regional para os municípios contemplados e favorecidos pelo Arco Metropolitano, a fim de reduzir custos com transporte;
- Análises aprofundadas sobre distâncias e custos de transporte para as Áreas de Influência consideradas.

Referências Bibliográficas

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira - NBR 10004: Classificação de Resíduos**. Rio de Janeiro, 77 p. 2004.
2. AGENDA 21. **História do Município de Itaboraí**. Portal Agenda 21 – Itaboraí. 2015. Disponível em: <http://agenda21itaborai.com.br/o-municipio/historia/>. Acessado em: 25 de janeiro de 2016.
3. ALMEIDA, E. **Desafios para o Brasil no Novo Cenário do Mercado Internacional de Petróleo**. Blog do Infopetro, Grupo de Economia da Energia. Disponível em: <https://infopetro.wordpress.com/2015/11/02/desafios-para-o-brasil-no-novo-cenario-do-mercado-internacional-de-petroleo/>. Acessado em: 27 de fevereiro de 2016.
4. ALVAREZ, R.; ROSA, B. **Petrobras Negocia com Chineses e Europeus Parceria para Concluir Obras no Comperj**. Portal do Jornal O Globo. 2015. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/economia/negocios/petrobras-negocia-com-chineses-europeus-parceria-para-concluir-obras-no-comperj-17707291>. Acessado em: 04 de janeiro de 2016.
5. APAPE – Associação Nacional dos Participantes da Petros. **Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro**. 2013. Disponível em: http://www.apape.org.br/arquivos/comperj_complexo_petroquimico_do_rio_de_janeiro.pdf. Acessado em: 26 de novembro de 2015.
6. ATLAS BRASIL. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil e no Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, IDHM**. IPEA, PNUD e Fundação João Pinheiro. 2013. Disponível em: http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/itaborai_rj. Acessado em: 27 de fevereiro de 2016.
7. BEHERA, S. K.; KIM, J.; LEE, S.; SUH, S.; PARK, H. **Evolution of ‘designed’ industrial symbiosis networks in the Ulsan Eco-industrial Park: ‘research and development into business into business’ as the enabling framework**. Journal Cleaner Production. Vol. 29-30, p. 103-112. 2012.

8. BIORIO – Fundação Bio Rio. **Plano Municipal de Água e Esgoto de Itaboraí**. Fundação Bio Rio, Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ. 123 p. 2014.
9. BOONS, F.; BASS, L. **Types of industrial ecology: the problem of coordination**. Journal Cleaner Production. Vol. 5, p. 79-86. 2007.
10. BOURSCHEID – Engenharia e Meio Ambiente S.A. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Sistema de Dutos e Terminais do COMPERJ**. Rio de Janeiro. 2009.
11. BRASKEM. **O Setor Petroquímico**. Portal Braskem. Disponível em: <http://www.braskem.com.br/cms/RI/Compartilhar/Pdf?titulo=o-setorpetroquimico&url=pXO82E6OuVTBfQr/94pCo2mOTgPZ§250ymY9BCVzFnJmdnhi6luoaa1y7KVluVcGmWW/XBkc8cM=>. Acessado em: 26 de abril de 2016.
12. CANCHUMANI, G. A. L. **Óleos Lubrificantes Usados: Um Caso de Estudo de Avaliação de Ciclo de Vida do Sistema de Rerrefino no Brasil**. Rio de Janeiro - RJ: Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 2013. Tese de Doutorado.
13. CEPEMAR – Cepemar Consultoria em Meio Ambiente Ltda. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Implantação do Emissário Terrestre e Submarino do Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro - COMPERJ**. Rio de Janeiro. 2010.
14. CHACHÉ, C. B. **O licenciamento ambiental “fragmentado”: estudo de caso do COMPERJ**. Revista Ensaios, Vol.7, p. 170-187. Julho-dezembro de 2014.
15. CHAE, S. H.; KIM, S. H.; YOON, S.; PARK, S. **Optimization of a waste heat utilization network in an eco-industrial park**. Applied Energy. Vol. 87, p. 1978-1988. 2010.
16. CHERTOW, M. **Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy**. Annual Review of Energy and Environment, No. 25, pp. 313-337. 2000.

17. CHERTOW, M. **Industrial symbiosis**. Encyclopedia of energy, ediatado por C. J. Cleveland, Oxford: Elsevier. 2004.
18. CHERTOW, M. e EHRENFELD, J. **Organizing Self-Organizing Systems - Toward a Theory of Industrial Symbiosis**. Journal of Industrial Ecology. No.16. EUA. 2012.
19. CHERTOW, M. R.; LOMBORDI, R. **Quantifying economic and environmental benefits of co-located firms**. Environmental Science and Technology. Vol. 39, p. 6535 - 6541. 2005.
20. CHERTOW, Marian R. "Uncovering" industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v.11. n.1. 2007.
21. COELHO, L. M. **Química Analítica Quantitativa: Roteiro das Atividades Práticas**. Universidade Federal de Goiás, Departamento de Química. Goiás. 2007.
22. CONCREMAT ENGENHARIA (1). **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. 2007.
23. CONCREMAT ENGENHARIA (2). **Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. 2007.
24. COPPE-UFRJ-IBAM. **Revisão do zoneamento industrial da região metropolitana do Rio de Janeiro – Relatório Final**. COPPETEC-COPPE-IBAM, Rio de Janeiro. 2005.
25. COTE, R. P.; COHEN-ROSENTHAL, E. **Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences**. Journal Cleaner Production. Vol.6, p. 181-188. 1998.
26. CUNHA, C. E. S. C. P. **Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo**. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2009, 148 p. Dissertação de mestrado.

27. DOMENECH, T., DAVIES, M. **Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg.** *Procedia Social and Behavioral Sciences*, No. 10, pp. 79-89, 2011.
28. ERKMAN, S. **Industrial Ecology: an historical view.** *Journal of Cleaner Production*, v.5, n° 1-2, pp. 1-10, Elsevier Science, 1997.
29. ERKMAN, S., **Industrial Ecology: a new perspective on the future of the industrial system.** *Assemblée annuelle de la Société Suisse de Pneumologie*. Suíça, 2001.
30. FEEMA. **NT-202. R-10 - Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos.** FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. Rio de Janeiro. 1986.
31. FIRJAN. **Cadastro Industrial do Estado do Rio de Janeiro 2013/2014.** FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.
32. FIRJAN, **Manual de Gerenciamento de Resíduos: Guia de procedimento.** Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, 2ª Edição. 2006.
33. FIRJAN. **Relatório Decisão Rio Investimentos 2010-2012.** Federação das Indústrias do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 78 p. 2010.
34. FIRJAN-FGV. **COMPERJ – Potencial de Desenvolvimento Produtivo.** Federação das Indústrias do Rio de Janeiro e Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 44p. 2008.
35. FIRJAN. **Bolsa de Resíduos do Sistema FIRJAN.** FIRJAN – Federação de Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <http://www.firjan.org.br/data/pages/402880812141515B01214491A7F9678A.htm>. Acessado em: 08 de outubro de 2014.
36. FRAGOMENI, A. L. **Parques Industriais Ecológicos como Instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental Cooperativa.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2005. Dissertação de mestrado.

37. FRANCISCO, W. C. E. **Refinarias de Petróleo**. Portal Brasil Escola. Disponível em: <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/refinarias-petroleo.htm>. Acessado em: 11 de maio de 2016.
38. FROSCHE R.A., GALLOPOULOS, N.E. **Strategies for manufacturing**. Scientific American, 261: 3: 94–102, 1989.
39. FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Perfil rural banco de imagens - Análise e estruturação organizacional para acesso aos mercados**. 2013. Disponível em: https://www.fbb.org.br/data/files/E9/C1/89/60/4C652410D7D06524BD983EA8/Perfil%20Rural_Comperj.pdf. Acessado em: 24 de março de 2015.
40. GARNER, A. **Industrial Ecology: An Introduction, Pollution Prevention and Industrial Ecology**. University of Michigan. EUA, 1995.
41. GERTLER, N., **Industrial Ecosystems: Developing Sustainable Industrial Structures**. Massachusetts Institute of Technology (MIT), EUA, 1995. Dissertação de mestrado.
42. GIBBS, D. & DEUTZ, P. **Implementing industrial ecology? Planning for eco-industrial parks in the USA**. Geoforum, Elsevier Science, 2005.
43. GIBBS, D. & DEUTZ, P. **Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development**. Journal Cleaner Production. Vol. 15, p. 1683-1695. 2007.
44. GIESBRECHT, R. M. **Estações Ferroviárias – Visconde de Itaboraí**. Portal de Estações Ferroviárias. Disponível em: http://www.estacoesferroviarias.com.br/efl_rj_litoral/visconde.htm. Acesso realizado em: 27 de fevereiro de 2016.
45. GOTARDI, F. G. N.; ALVES, A.L.; ZANFOLIM, A. A.; SOUSA, C. C.; TORRES, R. M.; LEAL, M. A. **Estudo das Propriedades de Compósitos Obtidos Através da Incorporação de PET Triturado em Microconcretos**. 8º Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão – ENEPEX. 14 p. 2015.

46. GRECO, M.; ROMÃO, W. **Refinarias. Fundamentos de Petroquímica**, Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro – RJ. 14 p. 2012.
47. GRUPO LWART. **Coleta e Reuso do Óleo Lubrificante**. Portal Grupo Lwart. 2009. Disponível em: <http://www.lwart.com.br/site/content/lubrificantes/default.asp>. Acessado em: 27 de fevereiro de 2016.
48. HEERES, R. R.; VERMEULEN, W. J. V.; WALLE, F. B. **Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons**. Journal Cleaner Production. Vol. 12, p. 985-995. 2004.
49. HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C. V.; PAULON, V. A. **Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental**. Revista Cerâmica. P. 85-95. 2005.
50. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto **Interno Bruto Brasileiro**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acessado em: 03 de fevereiro de 2016.
51. Infográficos O Globo. **Infográficos – Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro**. Portal O Globo – Infográficos. 2014. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/infograficos/comperj/>. Acessado em: 14 de junho de 2015.
52. KINCAID, J., **Industrial Ecosystem Development Project Report**. Triangle J Council of Governments, EUA. 105 p. 1999.
53. LAGO, A.; PÁDUA, J. A. **O que é Ecologia**. São Paulo, Brasiliense. 1984.
54. LAMBERT, A. J. D.; BOONS, F. A. **Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks**. Technovation. Vol. 22, p. 471-484. 2002.
55. LEMOS, F. A.; MASSON, I. O. C. **Recuperação de Metais Contidos em Catalisadores Exauridos**. III Jornada do Programa de Capacitação Interna –

- CETEM. Centro de Tecnologia Mineral, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro. 2013.
56. LIMA. **Avaliação Ambiental Estratégica do Programa de Investimentos da Petrobras na Área de Abrangência da Baía de Guanabara – PLANGAS, GNL e COMPERJ.** Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro. 2009.
57. LOBATO, N. C. C. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Indústria Siderúrgica.** Belo Horizonte – MG. Tese: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais. 2014. Dissertação de Mestrado.
58. LOMBARDI, D. R. & LAYBOURN, P. **Redefining industrial symbiosis.** Journal of Industrial Ecology 16 (1): 28–37. 2012.
59. LOWE, E. A. **Creating by-production resource exchanges: strategies for eco-industrial parks.** Journal Cleaner Production. Vol. 5, p. 57-65. 1997.
60. LOWE, E. **Eco-Industrial Park Handbook for Asian Developing Countries.** Indigo Development, USA. 2001.
61. LUCAS, D.; BENATTI, C. T. **Utilização de Resíduos Industriais para a Produção de Artefatos Cimentícios e Argilosos Empregados na Construção Civil.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, p. 405-418.
62. MAGNABOSCO, A.; IRANY, T. **Estatat incorpora quatro subsidiárias do COMPERJ.** Portal do Jornal Estadão. 2013. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,estatal-incorpora-quatro-subsidiarias-do-comperj-imp-,1042735> Acessado em: 15 de junho de 2015.
63. MAGRINI, A.; ELABRAS-VEIGA, L. B. **Industrial Ecology: Developing Countries' Experiences.** [S.l.]: [s.n.]. 2012. p. World Solid Waste Congress - ISWA.

64. MARIANO, J. B. **Impactos Ambientais do Refino de Petróleo**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2001, 279 p. Dissertação de Mestrado.
65. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 264 de 26 de agosto de 1999**. Dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos. Publicação DOU: 20 de março de 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=262>. Acessado em: 11 de maio de 2016.
66. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 362 de 23 de junho de 2005**. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. Publicação DOU: 27 de junho de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>. Acessado em: 27 de fevereiro de 2016.
67. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Coleta Seletiva**. Portal do Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento>. Acessado em: 11 de maio de 2016.
68. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem**. Portal do Ministério do Meio Ambiente. 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/endere%C3%A7os-importantes/item/7594-compostagem>. Acessado em: 31 de janeiro de 2016.
69. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos de Resíduos Sólidos**. Governo Federal, Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2012.
70. MIRATA, M. **Industrial Symbiosis in the UK**. 2012. Disponível em: <http://www.cric.ac.uk/cric/events/ecology/pdfs/mirata.pdf>. Acessado em: 30 de maio de 2015.

71. MORAES, L. R. **Implantação de Parques Eco-Industriais (EIPs) como Indutor do Desenvolvimento Sustentável: Análise do Potencial da Região Metropolitana de Curitiba**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 149 p. 2007. Dissertação de mestrado.
72. MINERAL ENGENHARIA. **Estudo de Impacto Ambiental de Implantação da Unidade de Processamento de Gás Natural e Unidade de Óleos Básicos Lubrificantes do COMPERJ**. Rio de Janeiro. 2012.
73. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração Energética, Petróleo, Gás e Refino**. Caderno de Diagnósticos. Brasília, 2011.
74. OH, D.; KIM, K.; JEONG, S. **Eco-industrial Park Design: a Daedeok Technovalley case study**. Habitat International. Vol. 29, p. 269-284. 2005.
75. OLIVEIRA, N. **Após uma década, future do Comperj é incerto**. Agência Brasil de Notícias. 2015. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2015-10/apos-uma-decada-futuro-do-comperj-e-incerto>. Acessado em: 04 de janeiro de 2016.
76. ORDOÑEZ R., **Petrobras terá de fazer novo estudo de impacto ambiental para ampliar Comperj**. 2011. O Globo Online. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/economia/petrobras-tera-de-fazer-novo-estudo-de-impacto-ambiental-para-ampliar-comperj-3003494>. Acessado em 25 de janeiro de 2016.
77. ORDOÑEZ R., ROSA B., **Petrobras altera projeto do Comperj para incluir gás natural do pré-sal**. 2011. O Globo Online. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/economia/petrobras-altera-projeto-do-comperj-para-incluir-gas-natural-do-pre-sal-2803102>. Acessado em 25 de janeiro de 2016.
78. PINHO, E. B.; COSTA, H. M.; RAMOS, V. D. **Análise Técnica do Uso de Resíduos de Poliéster na Indústria Têxtil**. Revista Polímeros, vol. 23, n. 5, p. 654-660. 2013.

79. PEREIRA, A. S.; LIMA, J. C. F.; RUTKOWSKI, E. W. **Ecologia Industrial, Produção e Ambiente: uma Discussão de Inter-Conectividade Produtiva.** Primeiro Workshop Internacional: Advances in Cleaner Production. p. 1-7. 2007.
80. PREFEITURA DE ITABORAÍ. **Conheça Nossa História.** Portal Oficial da Prefeitura de Itaboraí. 2016. Disponível em: <http://www.itaborai.rj.gov.br/>. Acessado em: 25 de janeiro de 2016.
81. PORTAL DA CIDADE DE ITABORAÍ. **Cidade de Itaboraí.** Portal Oficial da Cidade de Itaboraí. 2016. Disponível em: www.cidadedeitaborai.com.br. Acessado em: 25 de janeiro de 2016.
82. PORTAL PETOBRAS. **Maior sistema de reuso do país aproveitará efluente tratado na Estação de Alegria, no Caju, Rio de Janeiro.** Ouvidoria Petrobras. 2011. Disponível em: https://ouvidoria.petrobras.com.br/portal/ouvidoria/pt_br/noticias/maior-sistema-de-reuso-do-pais-aproveitara-efluente-tratado-na-estacao-de-alegria-no-caju-com-vazao-prevista-de-1-500-litros-por-segundo.htm. Acessado em: 25 de janeiro de 2016.
83. PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO. **ETA de Porto das Caixas será inaugurada.** Portal do Governo do Estado. 2011. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/imprensa/exibeconteudo>. Acesso realizado em: 29 de outubro de 2014.
84. PROLUMINAS. **Proluminas Lubrificantes Ltda.** Portal Proluminas Refino de Lubrificantes. 2016. Disponível em: http://www.proluminas.com.br/empresa.php?pg=quem_somos. Acesso realizado em: 29 de abril de 2016.
85. ROBERTS, B. H. **The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study.** Journal of Cleaner Production. Vol. 12, p. 997-1010. 2004.

86. ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. **Poli(Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem.** Revista Polímeros, vol. 19, n. 2, p. 121-132. 2009.
87. RUIZ, R. H. **Ecologia Industrial: Avaliação de Ecopolo Industrial de Santa Cruz, no Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro – RJ. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 87 p. 2013. Trabalho de conclusão de curso.
88. SAIKKU, L. **Eco-industrial parks: A background report for the eco-industrial park project at Rantasalmi.** Regional Council of Etelä-Savo, 2006.
89. SANTOS, V. E. N. **Proposta Metodológica para Criação de Biorrefinaria de Bagaço de Cana Produtora de Bioplataofrmas Químicas: Um Ensaio Preliminar como Parte de um Sistema de Simbiose Industrial em Campos dos Goytacazes – RJ.** Rio de Janeiro – RJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 2013. Dissertação de Mestrado.
90. SARK, D., Baas, L., El-Haagar, S., Huisingh, D. **Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: global trends and Egyptian context.** Journal of Cleaner Production No.19, pp. 1158-1169. 2011.
91. SENA, T. **Levantamento dos Resíduos Sólidos Gerados em uma Empresa de Refino de Petróleo.** Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. 2013. Conclusão de Graduação.
92. SITE OFICIL DO PIE DE KALUNDBORG. **Kalundborg Symbiosis.** 2013. Disponível em: <http://www.symbiosis.dk/en>. Acessado em 23 de novembro de 2013.
93. TANIMOTO, A. H. **Proposta de Simbiose Industrial para minimizar os resíduos sólidos no Polo de Camaçari.** Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. 2004. Dissertação de Mestrado.
94. TCE – TRIBUNAL DE CONTAS DE ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Estudos Sócio-Econômicos do Município do Estado do Rio de Janeiro.**

- Secretaria Geral de Planejamento, Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro – RJ. 115 p. 2013.
95. US – EPA, **Eco-Industrial Parks: A Case Study and Analysis of Economic, Environmental, Technical, and Regulatory Issues, Final Report**. United States Environmental Protection Agency, DC, USA. 1996.
96. Valor Econômico. **Petrobras retomará licitação para obras do COMPERJ**. Jornal Valor Econômico. 2015. Disponível em: <http://www.valor.com.br/empresas/4375064/petrobras-retomara-licitacao-para-obras-do-comperj>. Acessado em: 04 de janeiro de 2016.
97. VALOR ONLINE. **LLX Espera Definir Construção de Ramal Ferroviário no Início de 2011**. 2010. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia-e-negocios/noticia/2010/10/llx-espera-definir-construcao-de-ramal-ferroviario-no-inicio-de-2011.html>. Acessado em: 27 de fevereiro de 2016.
98. VAN BEERS, D., CORDER, G., BOSSILKOV, A., VAN BERKEL, R. **Industrial Symbiosis in the Australian Minerals Industry**- The Cases of Kwinana and Gladstone. *Journal of Industrial Ecology*, V. 11, No. 1, pp. 55-72. 2007.
99. VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. **Cerâmica Argilosa Incorporada com Resíduo Oleoso Proveniente do Setor Petrolífero**. *Revista Matéria – COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro*, v. 11, n. 3. p 217-222. 2006.
100. VEIGA, L. B. E. **Diretrizes para a Implantação de um Parque Industrial Ecológico: uma proposta para o PIE de Paracambi**. Rio de Janeiro - RJ: Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 2007. Tese de Doutorado.
101. VEIGA, L. B. E. & MAGRINI, A. **Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development**. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 17, p. 653-661. 2009.

102. WIMMER, A. C. S. **Aplicação do Processo Eletrolítico do Tratamento de Efluentes de uma Indústria Petroquímica.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC RJ. 2007. Dissertação de Mestrado.
103. ZHU, Q.; LOWE, E.; WEI, Y.; BARNES, D. **Industrial symbiosis in China: a case study of the Guitang Group.** Journal Industrial Ecology. Vol. 11, p. 31-42. 2007.

Contatos

- Contato via email – Ms. Elisabeth Renders, Coordenadora de Projetos do grupo Symbiosis, Kalundborg- Dinamarca. Novembro, 2013;
- Contato pessoal – Sr. Luiz Fernando Guimarães, Secretário Municipal de Desenvolvimento Econômico de Itaboraí. Setembro, 2014.