UNIVERSIDADE POSITIVO
LUCIANO CARSTENS

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

CURITIBA
2021

LUCIANO CARSTENS

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

Tese de Doutorado apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Gestão Ambiental da Universidade Positivo.

Linha de Pesquisa: Planejamento, Conservação e Desenvolvimento Socioambiental

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho

CURITIBA

2021

Dados Internacionais de catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca da Universidade Positivo - Curitiba – PR

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central - Universidade Positivo - Curitiba - PR
Elaborado pela bibliotecária Joelma Marques (CRB-9/1290)

C321 Carstens, Luciano.
Aproveitamento de resíduos para aumento da eficiência energética industrial / Luciano Carstens. — Curitiba : Universidade Positivo, 2021.
110 f. ; il.

Tese (Doutorado) – Universidade Positivo, Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho.

1. Gestão ambiental. 2. Economia circular. 2. Eficiência energética. 3. Aproveitamento de resíduos. 4. Simbiose industrial. 6. Eco-parques industriais. I. Carvalho Filho, Marco Aurélio da Silva. II. Título.

CDU 504

Aos meus queridos pais, Josemar (in memoriam) e Margarida

pelo apoio, educação e exemplo

que me deram ao longo da vida

Aos meus dois filhos Gabriel e Rafael,

por serem minha inspiração de vida

A minha querida irmã Adriana, pelo incentivo e apoio

A Ligia, pela dedicação, compreensão

e companheirismo

E a Gabriela por suas palavras

de ânimo, alegria e incentivo

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos que contribuíram de alguma forma durante os quatro anos de desenvolvimento desta tese de doutorado.

Em primeiro lugar, ao Prof. Dr. Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho por ser muito mais do que um orientador, um amigo, um conselheiro e incentivador. Sua experiência, seriedade, sabedoria e apoio me proporcionaram uma experiência única e inesquecível, especialmente durante a reta final de doutoramento, MUITO OBRIGADO!!!

Aos professores do Programa de Mestrado e Doutorado em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, ao Prof. Dr. Mario Sergio Michaliszyn, a Profª. Drª. Cintia Mara Ribas de Oliveira, a Profª. Drª. Marie Luise Caroline Bartz, a Profª. Drª. Eliane Carvalho de Vasconcelos, ao Prof. Dr. Marcelo Limont e todos os demais professores do PGAMB.

Agradeço aos profissionais da Renault do Brasil por terem auxiliado na condução das pesquisas em especial ao Engenheiro Luciano Zardo, pela abertura, comprometimento e auxílio nos estudos desenvolvidos na empresa.

Finalmente agradeço eternamente às pessoas mais importantes: meus pais Josemar fonte de inspiração (*in memoriam*) e a minha mãe Margarida e a minha querida irmã Adriana, por me apoiarem em um dos momentos mais importantes e difíceis da minha vida, a Ligia, por sua dedicação, carinho, reciprocidade e respeito, com apoio incondicional para que eu pudesse completar esta tese, a Gabriela que por sua alegria e energia contagiantes e com muito carinho e especialmente aos meus filhos Gabriel e Rafael que são minha maior inspiração.

Muito obrigado a todos!!!

Resumo

A viabilização do desenvolvimento sustentável é um dos principais desafios a serem superados pelas nações e gerações futuras. O planeta não possui recursos naturais suficientes para manter o ritmo de consumo nos padrões atuais e ao mesmo tempo garantir a qualidade de vida da população. Portanto a busca pela sustentabilidade deve ocorrer em todos os níveis e setores da sociedade, nas comunidades, nos serviços e principalmente nos processos produtivos e de transformação. Para se atingir o desenvolvimento sustentável é necessário equilibrar os interesses econômicos, sociais e ambientais com a disponibilidade de recursos, além de fomentar novas tecnologias que auxiliem neste processo. É necessário compreender todo o ciclo produtivo, desde os processos de extração da matéria-prima, passando pelas etapas de transformação, utilização, descarte e pós descarte de produtos. Isso envolve os resíduos gerados e os recursos energéticos gastos ao longo de todo o ciclo de vida. A presente tese demonstra como os conceitos de economia circular podem ser utilizados para aumentar a eficiência energética industrial. Para tanto, o estudo se pauta em cinco recortes teóricos distintos: Análise de Fluxo de Materiais (AFM), Ciclo de Vida dos Produtos (CVP), Simbiose ou Ecologia Industrial (EI), Economia Circular (EC) e Eficiência Energética na Indústria. Para realização destes estudos foram efetuadas visitas e entrevistas numa das maiores indústrias de veículos do Brasil a Renault do Brasil no Complexo Airton Senna e como resultado foi possível realizar um estudo de caso viabilizando o projeto e a implementação de um sistema de aproveitamento de biomassa a partir de resíduos de embalagens em substituição ao gás natural trazendo economia, maior eficiência energética e diminuindo a pegada de carbono durante o processo produtivo. O resultado dessa implantação permitiu que a fábrica da Renault do Brasil se tornasse a mais eficiente do grupo em termos de consumo de energia por veículo produzido, conforme pode ser destacado no relatório anual de sustentabilidade apresentado pela empresa em 2020, gerando uma economia no consumo de gás natural de 7,2% na fabricação de veículos de passeio e de 13,9% na fabricação de veículos utilitários, isto no primeiro ano de implementação do novo processo. Este modelo de reaproveitamento de resíduos desenvolvido e implementado com sucesso e ineditismo contribui como inspiração para outras indústrias do mesmo setor e de outros segmentos que tenham problemas similares no consumo de energia e que tragam oportunidades de aproveitamento dos resíduos como recursos energéticos, com pequenas adaptações na solução desenvolvida.

Palavras-chave

Economia Circular, Gestão Ambiental, Eficiência Energética, Aproveitamento de Resíduos, Simbiose Industrial, Eco-parques Industriais, Análise do Fluxo de Materiais

Abstract

Enabling sustainable development is one of the main challenges to be overcome by nations and future generations. The planet does not have enough natural resources to maintain the pace of consumption in current standards and at the same time guarantee the quality of life for the population. Therefore, the search for sustainability must occur at all levels and sectors of society, in communities, in services and especially in production and transformation processes. To achieve sustainable development, it is necessary to balance economic, social, and environmental interests with the availability of resources, in addition to fostering new technologies that assist in this process. It is necessary to understand the entire production cycle, from the extraction processes of the raw material to the stages of transformation, use, disposal, and post-disposal of products. This involves the waste generated and the energy resources spent over the entire life cycle. The present thesis demonstrates how the concepts of circular economy can be used to increase industrial energy efficiency. To this end, the study is based on five distinct theoretical perspectives: Material Flow Analysis (AFM), Product Life Cycle (CVP), Symbiosis or Industrial Ecology (EI), Circular Economy (EC) and Energy Efficiency in Industry. To carry out these studies, visits and interviews were carried out in one of the largest vehicle industries in Brazil, Renault do Brasil at the Airton Senna Complex and as a result it was possible to carry out a case study enabling the project and the implementation of a system for using biomass from packaging waste to replace natural gas, saving money, increasing energy efficiency and decreasing the carbon footprint during the production process. The result of this implementation allowed the Renault do Brasil plant to become the most efficient of the group in terms of energy consumption per vehicle produced, as can be highlighted in the annual sustainability report presented by it in 2020, generating savings in natural gas consumption of 7.2% in the manufacture of passenger cars and 13.9% in the manufacture of commercial vehicles, this in the first year of implementation of the new process. This model of reuse of waste, developed and implemented with success and originality, contributes as inspiration for other industries in the same sector and other segments that have similar problems in energy consumption and that bring opportunities for the use of waste as energy resources, with minor adaptations in developed solution.

Key-words

Circular economy, environmental management, energy efficiency, waste to energy, industrial symbiosis, industrial eco-parks, material flow analysis

Sumário

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA 17
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA 19
1.3 JUSTIFICATIVA TEÓRICA E PRÁTICA 20
1.4 ESTRUTURA DA TESE 21

2 REVISÃO DA LITERATURA 23
2.1 ANÁLISE DO FLUXO DE MATERIAIS (AFM) 24
2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) 29
2.3 SIMBIOSE INDUSTRIAL / ECOLOGIA INDUSTRIAL 34
2.4 PARQUES ECO INDUSTRIAIS (PEI) 38
2.5 DA ECONOMIA LINEAR PARA A ECONOMIA CIRCULAR 42
2.6 ENERGIA E QUALIDADE DE VIDA 49
2.6.1 Matriz Energética 50
2.6.1.1 Matriz Energética Mundial 50
2.6.1.2 Matriz Energética Brasileira 53
2.6.2 Matriz Elétrica 55
2.6.2.1 Matriz Elétrica Mundial 55
2.6.2.2 Matriz Elétrica Brasileira 56
2.7 BIOMASSA E BIOCOMBUSTÍVEIS 60
2.7.1 Fontes de Biomassa 62
2.7.2 Vantagens da Utilização da Biomassa 64
2.7.3 Tecnologias de Aproveitamento da Biomassa 65
2.7.3.1 Combustão Direta 66
2.7.3.2 Pirólise e Gaseificação 66
2.7.3.3 Digestão Anaeróbica 67
2.7.3.4 Fermentação 69
2.7.3.5 Transesterificação 70
2.7.4 Ciclo Energético da Biomassa 70

3 METODOLOGIA 71
3.1 PROCEDIMENTO ADOTADO 71
3.2 ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA 71
3.2.1 Perguntas ou Hipóteses de Pesquisa 72
3.2.2 População e Amostra 73
3.2.3 Procedimentos de Coleta de Dados 73
3.2.4 Procedimentos de Tratamento e Análise dos Dados 73
3.2.5 Facilidades e Dificuldades na Coleta e Tratamento dos Dados 73
3.2.6 Limitações da Pesquisa 74
3.3 ASPECTOS ÉTICOS ENVOLVIDOS NA CONDUÇÃO DA PESQUISA 74

4 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 75

4.1 POLÍTICA DO MEIO AMBIENTE DA RENAULT DO BRASIL 76

4.2 VISITAS TÉCNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES 80

4.3 PROJETO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ÁGUA QUENTE A PARTIR DE BIOMASSA 84

4.3.1 Características do Sistema atual de aquecimento 85

4.3.2 Premissas para desenvolvimento do projeto 86

4.3.3 Lógica de funcionamento do sistema 90

4.3.4 Disposição dos Processos 91

4.3.5 Fluxograma do Sistema de geração de água quente por Biomassa 92

4.3.6 Imagens do sistema instalado 93

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 97

REFERÊNCIAS 99

Lista de ilustrações

Figura 1: Lógica e Estrutura da Tese 21
Figura 2: Representação da dimensão das Ações e seus Fluxos de Materiais 26
Figura 3: Sistemas de Produção 28
Figura 4: Fases da Análise do Ciclo de Vida (ACV) 32
Figura 5: Fluxo de Economia Linear 43
Figura 6: Economia Circular para Materiais Biológicos e Tecnológicos 44
Figura 7: Utilização Global de Recursos Naturais 1900 - 2014 46
Figura 8: Benefícios da Economia Circular 48
Figura 9: População Global sem Acesso à Energia Elétrica 49
Figura 10: Matriz Energética Mundial 2016 51
Figura 11: Padrões de Utilização de Energia Mundiais 52
Figura 12: Matriz energética brasileira 2017 54
Figura 13: Gráfico de Participação das Fontes de Energia no Brasil e no Mundo 55
Figura 14: Matriz Elétrica Mundial 56
Figura 15: Participação das fontes de energia na matriz elétrica brasileira 57
Figura 16: Participação das fontes de energia no Brasil e no mundo na matriz elétrica 58
Figura 17: Cenário Revolução Energética 2050 59
Figura 18: Projeção da redução de Emissões de Dióxido de Carbono (CO_2) 60
Figura 19: Principais Tipos de Biomassa 63
Figura 20: Diagrama Esquemático dos Processos de Conversão Energética da Biomassa 65
Figura 21: Ciclo Energético da Biomassa 70
Figura 22: Vista Aérea do CAS 75
Figura 23: Peso total de resíduos por tipo e método de disposição 77
Figura 24: Pallets Reutilizados 78
Figura 25: Pellets de Madeira 82
Figura 26: Exemplos de embalagens disponibilizadas como sucata 87
Figura 27: Acondicionamento dos Resíduos no CAS 89
Figura 28: Lógica de Funcionamento do Sistema 90
Figura 30: Layout do Sistema de Circulação de Água Quente 91
Figura 31: Local de Instalação do Sistema no CAS 92
Figura 32: Fluxograma do Sistema de Geração de Água Quente Projetado 93

Figura 33: Sistema de bombeamento 94
Figura 34: Sistema de *pipe racks* com a tubulação de aquecimento instalada 94
Figura 35: Área Interna utilizada para instalação do Sistema de Aquecimento por Biomassa 95
Figura 36: Pátio de Armazenamento.....95
Figura 37: Silo Pulmão de Cavaco.....96
Figura 38: Central Geradora de Água Quente por Biomassa.....96
Figura 39: Referência para o Grupo Renault em Consumo Energético por Veículo Produzido 98

Lista de tabelas

Tabela 1: Análise Bibliométrica 18
Tabela 2: Etapas de Avaliação do Ciclo de Vida 31
Tabela 3: Benefícios dos PEI's para as Indústrias, Meio Ambiente e Sociedade 41
Tabela 4: Resíduos x Destinação 79

ABREVIATURAS

Sigla	Significado
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AECIC	Associação das Empresas da Cidade Industrial de Curitiba
AFM	Análise do Fluxo de Materiais
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	American National Standards Institute
BEN	Balanço Energético Nacional
CAS	Complexo Airton Senna
COP	Coeficiente de Operação
CVP	Ciclo de Vida do Produto
EC	Economia Circular
EE	Eficiência Energética
EI	Ecologia Industrial
EIA	Energy Information Administration
EPI	Eco Parque Industrial
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IEC	International Electrotechnical Commission
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
GN	Gás Natural
GRI	Global Report Initiave
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
IEP	Instituto de Engenharia do Paraná
ISO	International Organization Standardization
kWh	Quilo Watt Hora
MC	Ministério da Cidadania
MME	Ministério de Minas e Energia
NFPA	Associação Nacional de Proteção Contra Incêndios
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PCI	Poder Calorifico Inferior
RdB	Renault do Brasil
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SBPE	Sociedade Brasileira de Pesquisa Energética
SDACI	Sistema de Detecção Alarme e Combate a Incêndio

1 INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento de consumo de recursos globais desafia atualmente economias intensivas e empresas. As empresas têm se confrontado com um fornecimento incerto de recursos (críticos), devido à escassez de opções de fornecimento no mercado, ao aumento da intervenção governamental e tensão geopolítica, bem como o aumento de danos aos ecossistemas globais. O conceito de Economia Circular (EC) envolve um modelo econômico com fluxos fechados de materiais e, além disso, com a mitigação de riscos. A implementação de conceitos de EC cria novas oportunidades de negócios, e pode beneficiar mudanças sociais em relação ao consumo colaborativo, e em direção a novas formas de organização em toda a cadeia de abastecimento, possibilitando novas formas de criação de valor (MENTINK, 2014).

A EC representa uma grande oportunidade para as empresas criarem vantagem competitiva, ou melhor, uma ***Vantagem Circular,*** interrompendo as formas tradicionais de produção e consumo por meio do desenvolvimento de novos modelos de negócios disruptivos e inovadores aplicando novos conceitos, soluções e tecnologias graças ao aprimoramento das novas competências de engenharia criadas ao longo dos anos (LACY; RUTQVIST, 2015), assim como se trata de um novo desafio para as empresas, que precisam reinventar seus processos produtivos, preservando recursos naturais, otimizando a produção e minimizando riscos (HAMMERSCHIMIDT, 2020).

A incapacidade do modelo de crescimento linear de lidar com a crescente demanda por recursos resultará em uma diferença de oito bilhões de toneladas entre oferta e demanda de recursos naturais limitados, quase equivalente ao uso total de recursos na América do Norte em 2014, 4,5 trilhões de dólares desperdiçados até 2030 e 25 trilhões de dólares desperdiçados até 2050 (LACY; RUTQVIST, 2015).

As relações entre as indústrias e o meio ambiente são cruciais para o desempenho dos negócios. Os impactos ambientais têm aumentado de maneira incremental a pressão sobre os negócios industriais (LIEDER *et al,* 2015).

O meio ambiente é um sistema complexo composto por organismos vivos, energia, material, espaço e informação. A espécie humana tem utilizado o meio ambiente para a produção e o descarte, extraindo recursos do meio ambiente e em contrapartida devolvendo resíduos e detritos (BRUNNER; RECHBERGER, 2005).

Com a revolução industrial, a produção em massa de bens foi habilitada por novos métodos de produção, resultando em produtos com alta disponibilidade e baixo custo. Consequentemente, devido às novas sociedades de consumo e grande crescimento da atividade industrial, as emissões líquidas e gasosas, a geração de resíduos sólidos e disposição em aterros tornaram-se cada vez maiores. Além disso, com o crescimento da população mundial e, especialmente, da classe média, é esperado que a demanda por recursos aumente rapidamente, intensificando a pressão nos recursos naturais (LIEDER *et al,* 2015).

Todavia, os recursos do planeta Terra são limitados e os requisitos exponenciais de crescimento econômico e populacional não podem ser satisfeitos. O desafio não se configura apenas com a poluição ambiental que se torna aguda, mas também com a escassez global de recursos. Estas circunstâncias desafiam as fábricas a lidar simultaneamente com a pressão de regulamentações ambientais, os desafios da volatilidade dos preços e riscos no suprimento de recursos, além das suas atividades diárias. Como isso influencia a competitividade individual, as empresas de fabricação se encontram em uma posição progressivamente incerta quanto ao suprimento de recursos. O aumento da concorrência para o acesso a recursos escassos ou críticos se tornou outra grande preocupação para a indústria de transformação, além de cumprir as obrigações em matéria de legislação ambiental a um custo mínimo (LIEDER et al 2015).

Quando os recursos são abundantes e baratos e o impacto sobre o ambiente não é uma preocupação predominante, a abordagem "linear" atual para satisfazer a demanda pode ser muito bem-sucedida. As empresas podem, com eficiência cada

vez maior, extrair matérias-primas, usar esses materiais para fabricar os produtos desejados e vendê-los e enviá-los para o maior número possível de clientes. Estes clientes, por sua vez, podem usá-los e descartá-los depois de terem cumprido sua finalidade. É uma economia baseada nos princípios de tomar da natureza, transformar e então descartar (LACY; RUTQVIST, 2015).

Durante muitos anos a gestão ambiental no ambiente industrial esteve resumida a parâmetros de controle de poluição do ar e de resíduos sólidos e líquidos, com o intuito de cumprir normas estabelecidas pelos poderes públicos. Para atender estes critérios, as empresas adotavam apenas duas medidas típicas de gestão ambiental, o controle da poluição ao final do processo ou a adoção de medidas de remediação. Porém, este método, com o tempo, se mostrou ineficiente tanto para o meio ambiente quanto para as empresas, o que levou à adoção de novas abordagens, como o controle da geração de poluentes na fonte e da valoração e reaproveitamento dos resíduos gerados. Esta prática exigiu do gestor uma visão mais abrangente do processo produtivo. A partir daí, a gestão ambiental passou a ter uma abordagem mais estratégica, evoluindo do simples controle ao final do processo para a prevenção ao longo de todo o ciclo de vida do produto, ou seja, durante todas as etapas da cadeia de suprimentos (SANTOS *et al*, 2016).

Segundo KORHONEN (2004), a questão energética é outro ponto de preocupação. Cerca de 80% do consumo de energia do planeta é oriundo de fontes não renováveis e de emissões intensivas fósseis. Combustíveis alternativos, como a biomassa, são frequentemente ignorados. A sustentabilidade econômica, social e ecológica a longo prazo é problemática neste cenário.

O presente trabalho faz parte da linha de pesquisa do programa de gestão ambiental que busca estudar o planejamento e desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental, visando ao desenvolvimento sustentável, na mesma linha dos estudos iniciados por COUGO (2012), VISSUMA (2013), CARVALHO (2015), DIAS (2017), ELIAS (2018) e MALUCELLI (2019).

Para tanto, levanta-se a hipótese de que os conceitos de EC apresentam condições de minimizar os resíduos e otimizar os recursos energéticos em um grupo

de empresas ou indústrias e de criar um ambiente de colaboração e otimização do processo produtivo das organizações participantes. A elaboração deste modelo de EC para aplicação em parques industriais exige estudos de forma interdisciplinar, relacionando os fluxos de materiais, energia, com aspectos econômicos, sociais e ambientais de forma a buscar sinergias que visam atingir o equilíbrio desejado para o desenvolvimento sustentável.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A presente pesquisa busca apresentar algumas contribuições inéditas ao desenvolver um modelo de reaproveitamento de resíduos aplicando conceitos de circularidade que possam aumentar a eficiência energética, diminuir a pegada de carbono, simplificar movimentações logísticas envolvidas no processo de fabricação, melhorar os resultados financeiros da operação, ou seja aprimorar as práticas de desenvolvimento sustentável, através da Economia Circular e o equilíbrio eco socioambiental.

Ao realizar a análise bibliométrica sobre estudos semelhantes no portal de periódicos da CAPES, no dia 23 de setembro de 2020, foram encontrados os resultados apresentados na tabela 01.

]

Tabela 1: Análise Bibliométrica

ITEM	PESQUISA	REFERÊNCIAS
1	“Circular Economy” & “Industrial Ecology”	1161
2	“Eco industrial parks”	9621
3	“Model of eco-industrial parks”	0
4	“Eco industrial parks” & “Circular Economy”	685
5	“Parques Ecoindustriais” & “Economia Circular”	10
6	“Parques Ecoindustriais” ou “Parques Eco Industriais”	50
7	“Economia Industrial” & “Ecologia ndustrial”	6
8	“Modelos de Parques Eco Industriais”	0
9	“Circular Economy” & “Energy Efficiency” & “Ecoindustrial Parks”	1
10	“Economia Circular” & “Eficiência Energética” & “Parques Ecoindustriais”	0

Fonte: Periódicos CAPES, Data:23/09/20

Os resultados mostram que existe uma lacuna a ser explorada em termos teóricos, especialmente em estudos aplicados no contexto do Brasil, o que traz o caráter de ineditismo, relevância e de potencial para a dilatação da teoria, e apesar da pesquisa apresentar algumas referências em relação ao tema da Economia Circular, ao se incluir a busca por parques eco industriais ou modelos de parques eco industriais, não foram encontrados resultados para a pesquisa. A elaboração de um modelo para adoção da economia circular em parques industriais, em especial para parques já constituídos representa uma lacuna a ser explorada.

Já em termos práticos, ao se adotar os conceitos de EC é possível viabilizar o aproveitamento econômico de resíduos, promover o desenvolvimento local por meio da otimização de recursos entre empresas, e implementar novas fontes de produção de energia próximas aos consumidores e com isto reduzir os impactos sobre o meio ambiente (CORTEZ *et al,* 2008). Os resultados do estudo podem contribuir para o processo de tomada de decisão, aplicação de técnicas de simbiose industrial nas empresas da região metropolitana de Curitiba, ao mostrar oportunidades para aplicação dos princípios da economia circular e aproveitamento de resíduos como recursos energéticos em substituição a outras fontes de energia convencionais.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

A presente pesquisa tem por **objetivo geral** identificar oportunidades de como a Economia Circular pode ser utilizada de maneira a contribuir diretamente na diminuição da pegada de carbono em uma fábrica de grande porte utilizando resíduos industriais como fonte de energia.

Os **objetivos específicos** são:

a) Identificar as práticas de sustentabilidade adotadas na planta da Renault do Brasil
b) Levantar os volumes de resíduos gerados e que podem utilizados como energia
c) Implementar um sistema de reaproveitamento de energia a partir da biomassa de resíduos, aumentando a eficiência energética operacional da empresa.

1.3 JUSTIFICATIVA TEÓRICA E PRÁTICA

A atuação industrial de empresas de grande porte como as do setor automotivo apresenta grandes desafios para a sociedade, pois ao mesmo tempo que geram milhares de empregos, consomem muitos recursos naturais trazendo impactos ambientais diretos durante os processos de fabricação e indiretos durante o ciclo de vida dos produtos acabados.

Para tanto, conceitos de economia circular e de análise de ciclo de vida vêm sendo implementados no setor, com intuito de aumentar a competividade das empresas, diminuir os impactos ambientais, viabilizando a sustentabilidade do setor.

Segundo DIAS (2017), a gestão de resíduos exige a participação da sociedade como um todo, tornando necessárias mudanças nas posturas convencionalmente adotadas por todos os *stake holders,* ou atores, envolvidos na cadeia produtiva, sejam eles produtores, fornecedores, distribuidores ou consumidores finais.

A tendência global do crescimento industrial, associado ao aumento do consumo de energia, bem como da alta dependência da geração atual a partir dos combustíveis fósseis e as preocupações com a segurança energética, conduzem à busca por fontes de energia alternativas. Fontes renováveis à base de biomassa, como madeira, resíduos agrícolas, resíduos sólidos são matérias-primas atraentes e alternativas para geração de energia, e que podem eventualmente substituir os combustíveis fósseis a longo prazo (LHALICK, 2018).

Para a construção de um modelo teórico de referência foi efetuada a revisão bibliográfica, apresentada a seguir, com levantamento dos principais conceitos relacionados ao tema que será explorado.

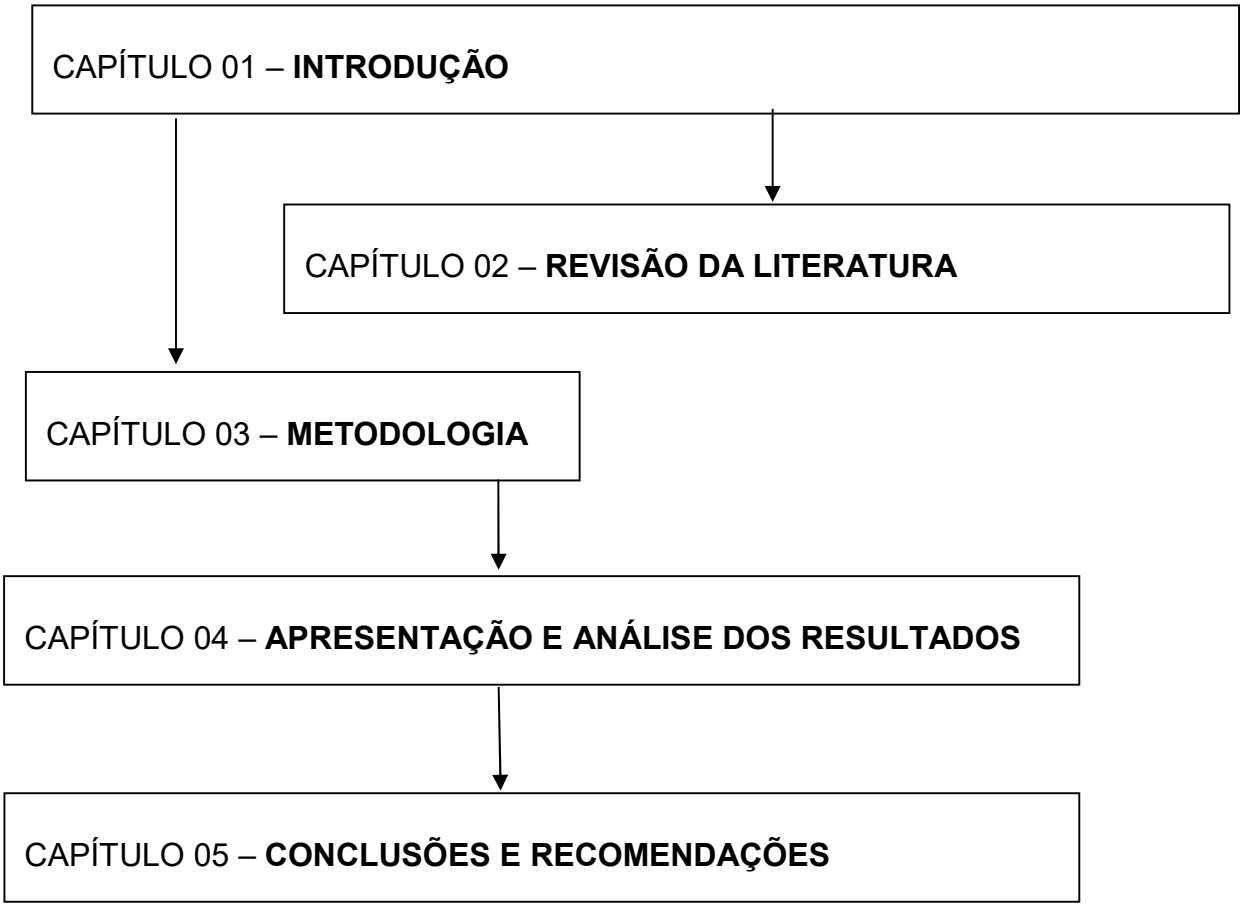
O presente estudo se baseia nos princípios da economia circular, que propõem identificar oportunidades de aproveitamento e reutilização de resíduos como fontes de energia nas próprias indústrias, ou ainda em empresas vizinhas que porventura possam se beneficiar destes recursos. A partir desta ideia, a pesquisa busca analisar todos os desafios envolvidos neste contexto e propõe identificar

oportunidades de reaproveitamento destes recursos auxiliando no aumento das práticas de circularidade e da eficiência energética das empresas beneficiadas.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho foi estruturado em 5 capítulos:

Figura 1: Lógica e Estrutura da Tese



- O primeiro capítulo é composto pela introdução, formulação do problema de pesquisa, objetivos da pesquisa e justificativas teórica e prática.

- O segundo capítulo apresenta o quadro teórico de referência, com a revisão bibliográfica que dá embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho.

- O terceiro capítulo aborda a metodologia, a especificação do problema, delimitação e estrutura da pesquisa além dos aspectos éticos envolvidos na condução da pesquisa.

- O quarto capítulo traz a apresentação e análise dos resultados da pesquisa.

- O quinto capítulo apresenta as conclusões e recomendações finais do trabalho de tese.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A aplicação dos princípios de Economia Circular (EC) é fundamental para o desenvolvimento sustentável. Para tanto se faz necessário compreender diversos conceitos e aspectos que estão diretamente relacionados com o tema, sendo assim a revisão da literatura foi dividida a partir de cinco recortes teóricos complementares que auxiliam na formação dos principais fundamentos da Economia Circular que são a Análise de Fluxo de Materiais (AFM), A Análise do Ciclo de Vida (ACV), os conceitos de Ecologia Industrial (EI) ou Simbiose Industrial (SI), os Parques Eco Industriais (PEI) e a Eficiência Energética (EE) nas Indústrias.

O modelo econômico de desenvolvimento desde a Revolução Industrial, com a invenção da máquina a vapor, seguiu um modelo linear de desenvolvimento em que os aspectos ambientais pouco foram considerados, o desenvolvimento durante este período se baseou em um modelo de economia linear, em que a busca pela eficiência se dava apenas nas tentativas de otimização dos processos, redução de custos e aumento de produtividade, porém sem considerar o meio ambiente e a melhor utilização e aproveitamento dos recursos naturais. A EC busca tratar este problema e, como uma nova revolução industrial, objetiva incluir nos aspectos produtivos o melhor aproveitamento dos recursos da natureza, equilibrando o desenvolvimento nos três pilares da sustentabilidade: o social, econômico e o ambiental. Conceitos como Ecologia Industrial ou Simbiose Industrial começam a ser aplicados e ajudam neste novo modelo de desenvolvimento sustentável a longo prazo e com menos impactos ao meio ambiente.

2.1 ANÁLISE DO FLUXO DE MATERIAIS (AFM)

A Análise do Fluxo de Materiais (AFM) é uma avaliação sistemática dos fluxos e estoques de materiais dentro de um sistema definido no espaço e no tempo. Conecta as fontes, os caminhos, e as reservas intermediárias e finais de um material. Devido à lei da conservação da matéria, os resultados da AFM podem ser controlados por simples balanço de material comparando todas as entradas, estoques e saída de um processo. É esta característica da AFM que torna o método atraente como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão na gestão de resíduos e no gerenciamento ambiental (BRUNNER, RECHBERGER, 2005).

A AFM disponibiliza de maneira completa e consistente a informação sobre todos os fluxos e estoques dos materiais em um sistema. Por meio do balanço entre entradas e saídas, os fluxos de desperdícios e das cargas ambientais se tornam visíveis e as fontes de desperdício podem ser identificadas. O esgotamento ou acumulação dos estoques de materiais pode ser identificado cedo o suficiente para que se tenha tempo de adotar medidas corretivas para a melhor utilização futura. Além disso, auxilia a identificar pequenas mudanças de curto prazo teoricamente difíceis de serem mensuradas, mas que podem influenciar lentamente com danos em longo prazo (BRUNNER, RECHBERGER, 2005).

Ao se elaborar a estrutura do fluxo de materiais em uma cadeia produtiva é possível quantificar e analisar o impacto econômico e ambiental dos fluxos de massa e energia na manufatura de um produto à medida que ele se move da origem ao final da cadeia de processos produtivos. Este tipo de análise pode auxiliar a identificar oportunidades de promoção de atividades sustentáveis reduzindo o impacto ambiental, conservando e preservando melhor os recursos utilizados, verificando possibilidades de melhorar os benefícios sociais e o desempenho econômico (SCOTT, *et al*. 2003).

A contabilização dos fluxos de materiais por meio da AFM permite estimar indicadores ambientais derivados das análises. Todos os fluxos e indicadores são medidos em unidades de massa, dando uma quantificação física dos requisitos de

materiais do sistema. Esta metodologia tem sido aplicada principalmente a países e regiões para análise do metabolismo social, com indicadores simples, porém significativos, capazes de detectar pontos críticos e refletir o estado e a evolução do metabolismo do sistema (SENDRA *et al.* 2006).

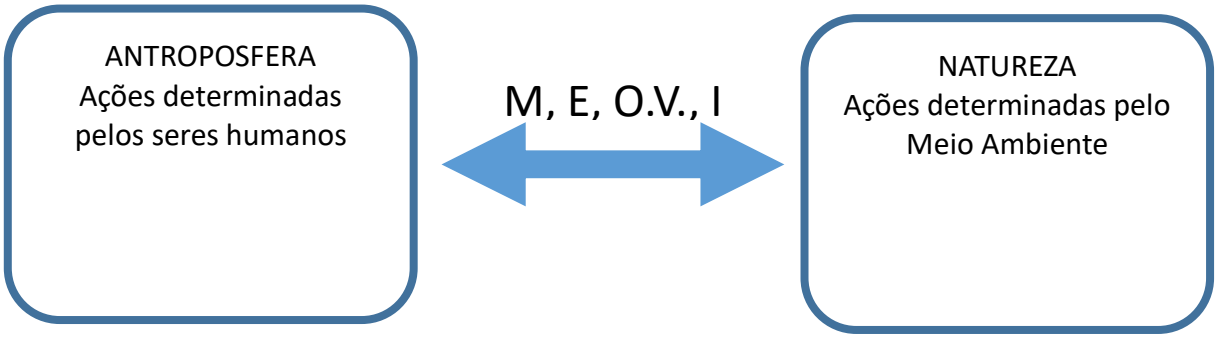
Entende-se por metabolismo social a maneira pela qual as sociedades humanas organizam suas crescentes trocas de energia e materiais com o meio ambiente (FISCHER-KOWALSKI, 1997).

Realizar a análise comparativa dos balanços de massa e energia permite efetuar avaliações de longo prazo com relação ao desempenho dos processos e seus impactos ambientais em comparação com operações nacionais e internacionais similares. Esta comparação de dados de desempenho permitirá à empresa implementar estratégias para alcançar a melhor conservação e otimização dos recursos naturais assim como o desempenho ambiental e econômico (SCOTT, *et al.* 2003).

A análise do fluxo de materiais e energia é reconhecida amplamente como uma etapa importante e necessária para mapear e reduzir o impacto das atividades humanas no meio ambiente (BINDER, 2006).

Segundo BRUNNER e RECHBERGER (2005), com uma análise antropogênica pode-se avaliar de maneira consistente o fluxo de materiais e seus estoques e, além disso, considerar aspectos energéticos, de espaço e socioeconômicos. Esta análise avalia duas dimensões: as ações determinadas pelo ser humano e as determinadas pela natureza. Entre elas existem fluxos de **M**ateriais, **E**nergia, **O**rganismos **V**ivos e **I**nformações, conforme ilustra a figura 2. Estes fluxos podem ser positivos ou negativos. Os valores positivos são determinados pelo mercado consumidor por meio da valoração econômica atribuída aos bens e serviços produzidos e que ajudam a precificar os produtos, já os valores negativos são resultantes dos gastos de energia, emissão de poluentes durante o processo produtivo, lodos ou esgotos, ou seja, os resíduos e impactos resultantes do processo de produção.

Figura 2: Representação da dimensão das Ações e seus Fluxos de Materiais



Fonte: adaptado de BRUNNER e RECHBERGER, 2005.

A AFM é adotada em práticas de engenharia e gerenciamento ambiental, incluindo declarações de impacto ambiental, recuperação de locais com resíduos perigosos, concepção de estratégias de controle da poluição atmosférica, manejo de nutrientes em bacias hidrográficas, planejamento de programas de monitoramento do solo, da lama e do esgoto. Todas estas tarefas exigem uma compreensão da complexa interação entre o meio ambiente e a antroposfera. Sem este conhecimento, as medidas adotadas podem não focar nas fontes e vias prioritárias, tornando ações muitas vezes dispendiosas e ineficazes (BRUNNER, RECHBERGER, 2005).

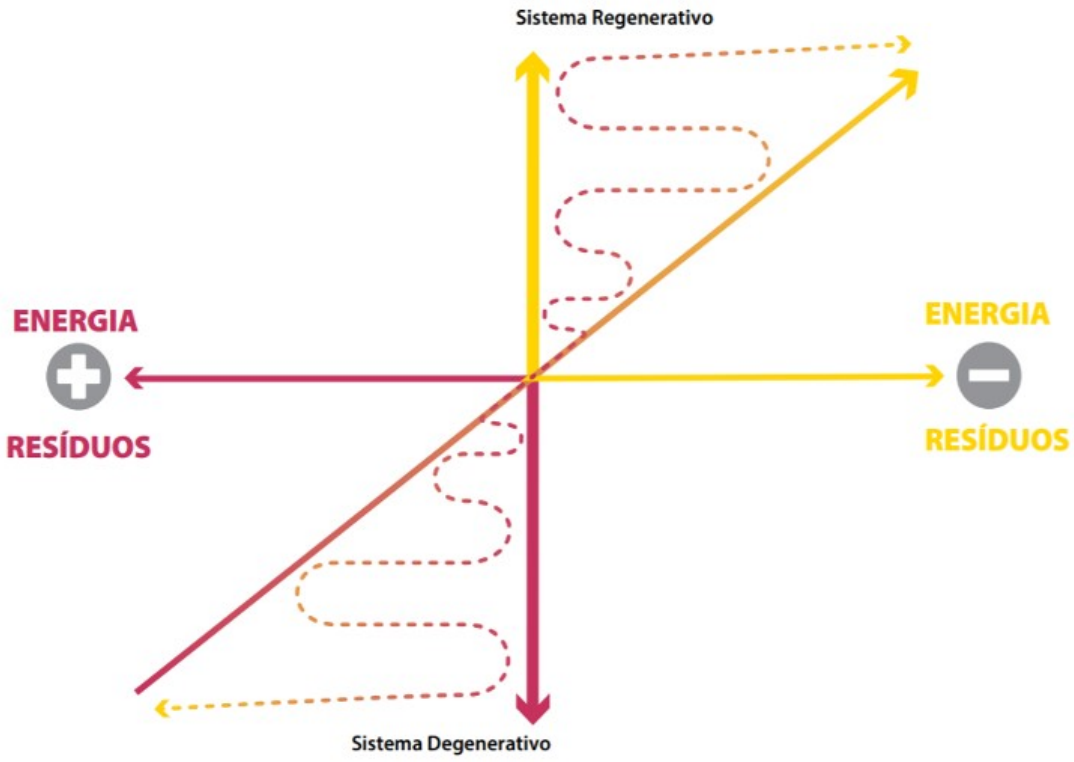
Outro ponto que ressalta a importância da AFM nas práticas de engenharia e gerenciamento ambiental é que ela traz transparência. E isto é especialmente importante para as declarações de impacto ambiental. Por exemplo, valores de emissão analisados isoladamente podem não permitir uma avaliação cruzada com outros processos quando ocorrem mudanças nas condições dos projetos, o que pode auxiliar a atender as regulações de maneira ampla e completa, além de auxiliar a otimização de sistemas. Quando os balanços dos fluxos de materiais e os coeficientes de transferência dos processos são conhecidos, os resultados de diferentes condições podem ser mais facilmente avaliados (BRUNNER, RECHBERGER, 2005).

Segundo SENDRA et al. (2006) é necessário considerar alguns aspectos importantes ao se adaptar os conceitos da AFM para parques industriais. O primeiro deles é que a AFM deve ser combinada com a análise da utilização da energia e da

água, pois é importante medir todos os recursos utilizados pelo sistema. Dependendo da localização do parque industrial, tanto o consumo de água quanto o de energia podem representar impactos ambientais relevantes, e existem situações em que a melhor utilização do material também contribui para diminuir o consumo de energia ou de água (isto é, reciclagem), afinal, nos parques eco-industriais, a utilização de todos os recursos deve ser melhorada. Outro ponto é que a maioria das informações existentes e dados estatísticos fornecidos pelas empresas consideram aspectos globais, regionais ou nacionais, porém a análise dos parques industriais deve ser realizada considerando-se a realidade local ou regional, pois as informações, quando obtidas em nível nacional, podem gerar valores errôneos, distorcendo médias e realidades locais. Além disto, nas áreas industriais, devem ser consideradas as informações de utilização de recursos materiais e naturais por produto, em vez de informações genéricas globais utilizadas em nível nacional ou regional.

Com relação a energia, esta abordagem baseada em processos, apresenta o termo “regenerativo”, que descreve procedimentos que recuperam, restauram, renovam ou ainda que revitalizam fontes de energia e matéria. É baseada no princípio apresentado por Lavoisier em 1775, que diz: “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Projetando-se sistemas ditos regenerativos é possível tentar criar ambientes produtivos livres da geração de resíduos, como pode ser observado na figura 3.

Figura 3: Sistemas de Produção



Fonte: Greenroofs.com (2019)

Novamente esta setorização é importante para refletir a realidade local, assim como identificar as reais oportunidades de melhoria na região de impacto, pois quando a AFM é feita em nível nacional ela se torna uma caixa preta, enquanto que quando se analisa localmente um parque industrial, a AFM permite uma análise mais completa dos impactos e das sinergias locais, permitindo que as empresas detectem oportunidades de melhoria, como o intercâmbio de materiais entre empresas da mesma região de atuação e impacto. Portanto, a qualidade da base de dados criada para avaliar os indicadores da AFM será a principal ferramenta para detectar essas oportunidades de melhoria e otimização. Assim, não só os indicadores deduzidos da AFM são úteis, mas também os dados e a metodologia necessária para obtê-los.

A análise ambiental da cadeia produtiva que se utiliza dos conceitos da AFM auxilia os gestores das empresas a decidir onde se devem concentrar os esforços e investimentos para elaboração de métodos produtivos mais limpos que possibilitem

a redução dos impactos ambientais globais, inclusive com evidências dos benefícios econômicos obtidos (SCOTT, et al. 2003).

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), também chamada de Análise do Ciclo do Vida ou Abordagem do Ciclo de Vida, envolve a avaliação do ciclo de vida nas diversas etapas ou fases de um produto, desde sua concepção até o final de sua vida útil. Estas avaliações na maior parte das vezes se relacionam com aspectos ambientais auxiliando na gestão ambiental de longo prazo e no desenvolvimento sustentável (JENSEN, et al. 1997).

Os primeiros estudos para analisar os aspectos do ciclo de vida de produtos e materiais datam do final de 1960 e início de 1970, e tiveram foco em questões como eficiência energética, consumo de matérias-primas e eliminação de resíduos. Em 1969, por exemplo, a Coca Cola *Company* financiou um estudo para comparar o consumo de recursos e os lançamentos ambientais associados aos contêineres de bebidas. Enquanto isso, na Europa, uma abordagem de inventário semelhante estava sendo desenvolvida, e mais tarde ficou conhecida como "*Ecobalance*". Em 1972, no Reino Unido, Ian Boustead calculou a energia total utilizada na produção de vários tipos de recipientes para bebidas, incluindo vidro, plástico, aço e alumínio. Ao longo dos próximos anos, Boustead consolidou sua metodologia para torná-la aplicável a uma variedade de materiais e, em 1979, publicou o Manual de Análise de Energia Industrial (JENSEN, et al. 1997).

A ACV é uma ferramenta desenvolvida para avaliar os resultados ambientais de produtos ou serviços ao longo de todo o seu ciclo de vida. Tem ampla aceitação internacional na ciência como instrumento para melhorar o desempenho ambiental de produtos ou serviços. É considerada um método abrangente para avaliar e comparar materiais, produtos e serviços sob a ótica do meio ambiente, e fornece uma base significativa para avaliar os encargos ambientais indiretos, muitas vezes

ocultos, que são significativos e raramente abordados na literatura ambiental (FILIMONAU *et al*, 2011).

Por meio da ACV é possível expandir os limites de análise dos fluxos de materiais que estão ao alcance direto de uma única empresa, para descrever as interações ecológicas industriais de maneira que sejam considerados os impactos ambientais em uma análise que vai além dos limites da produção e do consumo. Os inventários do ciclo de vida raramente incorporam os dados econômicos que descrevem as estruturas de incentivo que motivam as organizações na cadeia produtiva. As políticas futuras de gerenciamento do ciclo de vida em um paradigma de ecologia industrial exigirão novas ferramentas que informem os decisores sobre a distribuição de custos, benefícios e consequências ambientais entre diferentes empresas ou consumidores e que compartilhem a responsabilidade por estas consequências e decisões (GRIMES-CASEY *et al* 2007).

Durante muitos anos a gestão ambiental foi administrada pelas empresas e organizações de maneira superficial, e suas ações se resumiram a simples medidas de controle da poluição de forma a respeitar as normas e padrões de emissão estabelecidos pelos órgãos de controle e à adoção de medidas para corrigir e restaurar impactos ambientais já ocasionados por descargas indevidas de poluentes na natureza, com a gestão ambiental ocorrendo somente ao final do processo produtivo e com medidas de minimização, mas não de solução efetiva dos problemas ambientais eventualmente ocasionados. Este tipo de abordagem tem se mostrado muito ineficiente, tanto para as empresas geradoras dos impactos ambientais, quanto para o meio ambiente, e novos conceitos começaram a ser implementados, como a redução da geração dos resíduos na fonte, além da valorização dos mesmos, exigindo uma visão mais ampla do processo produtivo. Com isto, o gerenciamento ambiental nas empresas tem evoluído de uma abordagem centrada no controle da poluição para uma abordagem centrada na prevenção, ao longo do ciclo de vida do produto, incluindo toda a cadeia de suprimento (KNIESS, *et al*. 2016).

A ACV se constitui em uma metodologia eficiente para a avaliação do impacto ambiental de produtos e sistemas de produção, que analisa todo o ciclo de vida,

desde a exploração das matérias-primas na natureza até o descarte dos produtos após a utilização final dos mesmos (WILLERS, et al. 2011).

Segundo JENSEN *et al*. (1997), uma avaliação típica do ciclo de vida (ACV) consiste em quatro Etapas:

- **Etapa 1** – Definição do Escopo e das Metas;
- **Etapa 2** – Realizar um inventário detalhado do ciclo de vida, contemplando a obtenção das informações de energia, recursos utilizados e das emissões ao meio ambiente;
- **Etapa 3** – Avaliar os principais impactos ao meio ambiente de acordo com o inventário realizado durante o segundo estágio;
- **Etapa 4** – Interpretar os resultados dos estágios anteriores e relacionar com os objetivos do estudo.

As ações adotadas em cada uma das etapas podem ser observadas na tabela 02.

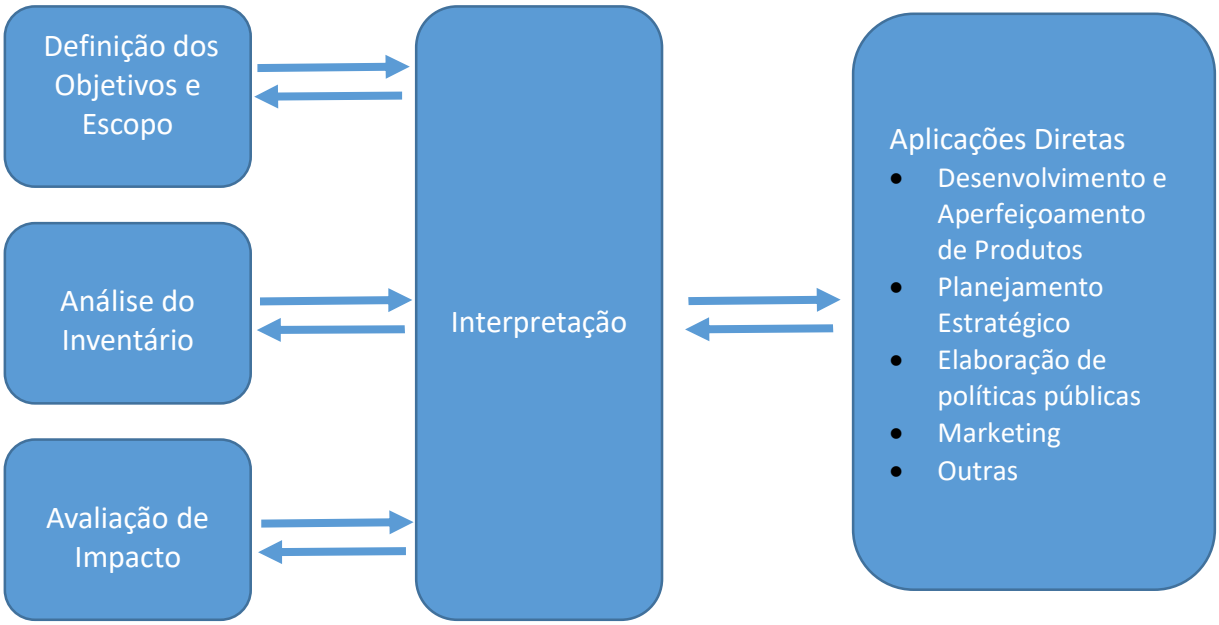
Tabela 2: Etapas de Avaliação do Ciclo de Vida

ETAPA	AÇÃO	DESCRIÇÃO
Etapa 1	Escopo e Metas	O escopo de uma ACV depende do objeto e do uso pretendido para o estudo. A profundidade e a abrangência da ACV podem variar consideravelmente, dependendo do objetivo do estudo em particular.
Etapa 2	Inventário	Trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema em estudo. Essa etapa envolve a coleta dos dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão.
Etapa 3	Avaliação de Impactos	O objetivo desta etapa é prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do inventário de um sistema, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental.
Etapa 4	Interpretação	Etapa na qual os resultados são sumarizados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo.

Fonte: adaptado de ABNT NBR ISO 14040:2009 e Jensen et al., 1997

A figura 4 apresenta as fases de análise do ACV.

Figura 4: Fases da Análise do Ciclo de Vida (ACV)



Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 14040:2009

Segundo BAUTISTA-LAZO e SHORT (2013), quando a geração de resíduos durante o processo produtivo e ao longo do ciclo de vida dos produtos é inevitável, eles devem ser introduzidos em novos ciclos produtivos, evitando com isto o descarte na natureza.

Por meio da ACV, é possível mensurar os custos sociais como método de análise de valor agregado aos processos. Dados como, por exemplo, de poluentes de ar, podem ser utilizados para auxiliar na comparação de duas ou mais alternativas tecnológicas de produção. No entanto, o conceito de custos externos não foi estendido da avaliação da poluição para interações estratégicas, como nos processos de remanufatura, gerenciamento de fim de vida ou ainda da simbiose industrial (GRIMES-CASEY *et al* 2007).

Quando as empresas conhecem as características dos seus resíduos, mapeando e controlando sua geração, se torna possível o desenvolvimento de estudos que viabilizem a utilização destes resíduos gerados como insumos para o desenvolvimento de novos produtos (BRANDALISE, *et al*. 2007).

O desenvolvimento dos estudos do ciclo de vida está deslocando o foco de atenção dos impactos da produção para os impactos do consumo. No entanto, o pensamento do ciclo de vida (inventários e conceitos de projeto) foi amplamente aplicado como ferramenta técnica, deixando de lado os problemas críticos de gestão organizacional e administrativa decorrentes das relações dos produtores, consumidores e processadores de materiais pós-consumo. Os métodos de análise dos ciclos de vida industriais que incorporam essa mudança devem ser capazes de assimilar as "regras" das organizações e as condutas e barreiras existentes entre si assim como a relação com os potenciais consumidores e clientes. Isso representa um desafio para muitos ecologistas industriais que muitas vezes estão focados apenas nos equilíbrios materiais e energéticos, pois o conhecimento necessário para modelar as interações comportamentais estratégicas é residente principalmente nas ciências sociais, mas não na física (GRIMES-CASEY *et al* 2007).

Dentre os benefícios apresentados pela ACV, além de sua aplicação na avaliação de impactos ambientais, está proporcionar uma visão geral do real impacto causado pelos processos de fabricação e transformação, auxiliar na identificação das etapas críticas da produção que exigem muitos recursos naturais. Por meio da ACV é possível a comparação de dois processos ou produtos de forma a se identificar a melhor alternativa de transformação (WILLERS, et al. 2011).

JENSEN *et al*. (1997) explicam que durante a evolução dos conceitos da ACV, surgiram várias aplicações relacionadas, como o uso industrial interno no desenvolvimento e melhoria de produtos, o planejamento estratégico interno em apoio às decisões sobre a política industrial, o uso industrial externo para fins de *marketing* e a criação de políticas governamentais nas áreas de marcas ecológicas, compras ecológicas e oportunidades de gerenciamento de resíduos.

Portanto, as empresas devem analisar o ciclo de vida dos produtos que estão sendo produzidos para o mercado consumidor e avaliar o impacto que este produto poderá causar durante todo o seu ciclo de vida. A empresa responsável pela produção também se torna responsável pelo destino dos resíduos gerados pelo processo antes e após o consumo, visando com isto a minimização de impactos e a preservação do meio ambiente (RODRIGUES & SILVA; 2015).

Como se pode perceber, tanto a AFM quanto a ACV podem ser usadas para fornecer informações valiosas sobre o desempenho ambiental de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos. A abordagem conjunta dos dois sistemas pode ser aplicada para ajudar empresas e governos na avaliação das políticas de resíduos existentes e nas possibilidades para apoiar os gestores locais de resíduos na identificação de estratégias para a gestão dos resíduos sólidos com soluções ambientalmente melhores (TURNER *et al*, 2016).

2.3 SIMBIOSE INDUSTRIAL / ECOLOGIA INDUSTRIAL

Com a introdução da Ecologia Industrial em 1989, o desenvolvimento industrial foi colocado em uma nova perspectiva. Esta nova perspectiva define que os complexos industriais devem ser projetados para se assemelharem aos ecossistemas naturais o máximo possível. O desenvolvimento industrial deve se assemelhar aos ecossistemas naturais porque nestes sistemas, recursos energéticos são otimizados e as perdas são ausentes (WALLE *et al. 2004).*

O conceito de ecoeficiência foi apresentado durante a conferência das Nações Unidas em 1992, consistindo em tornar a produção mais eficiente na utilização dos recursos. É uma forma de produção menos prejudicial ao meio ambiente e que contribui para compromissos de desenvolvimento sustentável. A estratégia da ecoeficiência é produzir mais com menos recursos, o que é interessante tanto no aspecto econômico quanto no ambiental, causando o menor impacto ecológico possível (AALL, HUSAB, 2010). Segundo BRUNNER e RECHBERGER (2005) não há um consenso sobre a definição mais correta sobre Ecologia Industrial (EI).

JELINSKI *et al.* (1992) a definem como um conceito em que um sistema industrial não é visto isoladamente de seus sistemas circundantes, mas em conjunto com eles. A Ecologia industrial procura otimizar o ciclo total dos materiais, do material virgem ao material acabado, do componente ao produto, do produto ao descarte e à destinação final.

Já SALMI (2006) define Simbiose Industrial (SI) ou Ecologia Industrial (EI) como a troca sinergética de material e energia entre organizações industriais em determinada localidade ou região. Em estudos de EI a SI é muitas vezes adotada para auxiliar na explicação dos conceitos dos parques industriais ecológicos e dos ecossistemas industriais. Um denominador comum para estes conceitos é que ambos tentam descrever as mudanças em um conjunto de sistemas individuais, de forma que cada um possa processar seu próprio fluxo de material em um sistema integrado entre as empresas. Esta mudança contribui para aumentar a eco eficiência. A eco eficiência é uma filosofia administrativa que estimula as atividades produtivas para que busquem simultaneamente melhorias ambientais e benefícios econômicos, examinando a utilização dos recursos naturais. Por meio da eco eficiência se busca produzir mais com menos recursos. Esta eficiência deve ser medida e avaliada com o objetivo de auxiliar a avaliação do desempenho produtivo de uma atividade econômica.

Estes conceitos de EI começaram a ser definidos no início dos anos 90, buscando a otimização do ciclo de vida dos materiais, desde a sua forma bruta passando pelo material final beneficiado por meio dos processos industriais e após o uso, preocupando-se com o descarte, os processos de reciclagem e a destinação final dos resíduos. A Ecologia Industrial pode ser definida como a ciência da sustentabilidade e neste caso sustentabilidade não pode ser vista apenas como uma questão ecológica, mas também precisa ser considerada sob as dimensões econômicas e sociais (BRUNNER; RECHBERGER, 2005).

Apesar das diversas definições apresentadas anteriormente, existem três elementos comuns a todos os autores que definem a EI, o primeiro é que a EI estuda todos os componentes que envolvem os complexos sistemas industriais e seus fluxos físicos de matéria e energia, analisando cuidadosamente o ciclo de vida dos produtos ou processos. Em segundo lugar, a EI traz fluxos físicos reais de matéria e energia no estudo do sistema industrial, não apenas fluxos monetários abstratos. Em terceiro lugar, a EI faz um estudo sobre as dinâmicas tecnológicas, ou seja, a evolução a longo prazo de tecnologias e políticas-chave para facilitar a transição da sociedade atual para um novo modelo baseado na sustentabilidade (KORHONEN et al. 2004).

Segundo BRUNNER e RECHBERGER (2005), a AFM pode ser aplicada na Ecologia Industrial:

1. Controlando os fluxos de materiais e processos industriais.
2. Criando ciclos fechados de práticas industriais.
3. Desmaterializando a produção industrial.
4. Sistematizando os padrões de consumo de energia.
5. Equilibrando as entradas e saídas industriais às capacidades naturais dos ecossistemas.

A AFM se caracteriza como uma importante ferramenta para auxiliar na implementação de projetos de Ecologia Industrial, analisando o metabolismo social existente entre os sistemas, para países ou regiões (VICENT *et al,* 2006).

Além da AFM, diversas ferramentas auxiliam na análise de viabilidade para a execução dos projetos de ecologia industrial, como a Eco inovação, a ACV do produto, o Ecodesign e a constituição dos Parques Industriais Ecológicos (VISSUMA, 2013).

A EI utiliza uma metáfora do ecossistema e uma espécie de analogia natural para estudar e melhorar a produtividade dos processos e reduzir o peso ambiental dos produtos industriais, bens de consumo, serviços prestados e seus sistemas de produção. A EI aplica a noção de que "na natureza nada poderá ser desperdiçado", partindo do princípio de que o desperdício de uma espécie se torna alimento para outra espécie e, portanto, os sistemas industriais também podem ser estudados em termos de redes industriais de “alimentos” (ou seja, a "metáfora do ecossistema" com ciclos fechados de materiais, mas que podem ser alimentados por radiação solar ou empresas vizinhas). Também procura imitar (mimetismo) em produtos e / ou em processos de fabricação e transformação, materiais, processos e formas que se revelaram eficientes e resilientes na natureza, como, por exemplo, a superfície auto-limpante da flor de lótus ("analogia natural") (BERKEL *et al*, 2009).

A EI promove ecossistemas industriais, conceito que implica a interação entre as empresas. Também foi descrita como uma abordagem para o estudo de sistemas industriais ecologicamente sustentáveis. Uma das contribuições principais da EI para

a sustentabilidade é a capacidade de influenciar economistas e decisores políticos no estudo dos fluxos materiais e energéticos para complementar o estudo dos fluxos monetários abstratos (KORHONEN *et al*. 2004).

A EI pode ser pensada como uma visão que inspira inovação tecnológica e organizacional em direção a um novo paradigma de produção industrial, ou seja, um novo sistema de organização de trabalho e tecnologia que se baseia no projeto e operação de processos industriais em série, interconectados com o meio ambiente. Esta perspectiva sugere que uma transição para a EI constitui uma inovação do sistema convencional de produção e transformação implicando em mudanças significativas nos sistemas de produção tradicionais (ADAMIDES; MOUZAKITIS, 2009).

Um dos pontos fortes da EI é a cooperação entre as empresas para encontrar situações de ganha-ganha, nas quais os benefícios da cooperação devem ser maiores que a soma das vantagens individuais. Apesar dos esforços investidos, existem poucas experiências reais de implementação, o que faz surgir muitos problemas ao implementar os conceitos da EI em áreas industriais (SENDEA *et al.* 2011).

As empresas envolvidas em um ecossistema apoiado nos conceitos da ecologia industrial esperam reduzir os impactos e custos ambientais, melhorar a eficiência dos recursos e criar relacionamentos simbióticos que reduzam os custos operacionais diretos e melhorem o fluxo de informações (GRIMES-CASEY *et al* 2007).

Os conceitos desenvolvidos pela simbiose industrial representam um instrumento eficiente para lidar com impactos ambientais gerados pelas empresas. Com o objetivo de solucionar estes problemas ambientais, parques eco industriais deverão ser projetados abordando o sistema industrial como um todo, considerando as tecnologias, a economia de processos, as inter-relações das empresas, o financiamento, a política governamental geral, todo o espectro de questões envolvidas na gestão de comercial, mas principalmente os aspectos de proteção ambiental e minimização dos impactos envolvidos ao longo dos processos de

transformação e produção, melhorando e otimizando a utilização de recursos naturais cada vez mais escassos (SAKR *et al,* 2011).

Para se atingir o sucesso na implantação dos conceitos da EI é importante que os processos e as indústrias sejam vistos como sistemas conectados e que interagem entre si em vez de serem tratados como componentes isolados em um sistema de fluxos lineares (GIBS; DUTZ, 2007).

De acordo com CHERTOW (2000), a simbiose industrial (SI) é considerada um subconjunto da EI que envolve entidades tradicionalmente separadas em uma abordagem coletiva de vantagem competitiva envolvendo intercâmbio físico de materiais, energia, água e subprodutos.

A EI lida com a indústria integrada nos ambientes do ponto de vista ambiental, sem comprometer ou deteriorar sua sustentabilidade econômica e social. O campo de atuação ultrapassa a melhoria das práticas de fabricação e se concentra nas inter-relações entre a empresa e seus arredores, sejam cidades, outras empresas ou regiões (SENDRA *et al.* 2006).

O principal objetivo da EI é estabelecer que os sistemas industriais sejam capazes de processar todos os materiais liberando uma quantidade mínima de resíduos para o meio ambiente (GIBS; DUTZ, 2007).

2.4 PARQUES ECO INDUSTRIAIS (PEI)

Como foi apresentado anteriormente, ao se realizar uma análise bibliométrica a respeito das produções científicas relacionadas aos parques eco industriais, foram encontradas 9621 publicações na língua inglesa e 50 publicações em português. Ao se incluir os termos “economia circular”, os resultados foram 685 publicações em língua inglesa e 10 em português.

Os conceitos do desenvolvimento sustentável foram amplamente reconhecidos em 1980, quando a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) publicou um estudo sobre a " Estratégia de Conservação Mundial". De acordo com o desenvolvimento sustentável, uma nova forma de organização industrial baseada no princípio da economia circular, denominada parques eco-industriais, vem crescendo em todo o mundo. Esses parques absorvem poder econômico denso e cultivam muitas empresas e indústrias de classe mundial. Os parques eco-industriais são compostos por muitas empresas com princípios da ecologia e da natureza em áreas residenciais e urbanas, que estabelecem o ciclo de produção entre "produtores → consumidores → decomposição" de sistemas industriais por meio da simulação do sistema natural. A partir da lógica interna mecânica, a economia circular é a questão central da construção de parques eco-industriais, que pode atingir o desenvolvimento duplo de otimização e coordenação entre o meio ambiente, a economia e os grupos comunitários da empresa, buscando, em última análise, uma maior eficiência. Como a base da pesquisa de parques eco-industriais, a medida do desempenho da economia circular não possui um modelo de avaliação uniforme (WENBO, 2010).

Estudos desenvolvidos por COTÉ e HALL (1995) sugerem que os conjuntos de parques industriais são na verdade ecossistemas e diferentes objetivos podem ser identificados para efetuar uma abordagem ecológica do projeto e operação dos parques industriais, tais como a conservação de recursos financeiros e naturais, a redução dos custos de produção com materiais e energia, a maior eficiência operacional, qualidade, saúde da população e imagem pública e a renda potencial por meio da venda de resíduos e sobras de materiais de processo.

Assim, uma abordagem ecológica pode ser sinônimo de uma abordagem econômica. Se totalmente implementada, os resíduos são reduzidos ou eliminados diminuindo os custos ambientais, reduzindo custos em insumos materiais para o processo de produção e aumentando a produção a partir dos mesmos materiais.

No início os parques eco-industriais (PEI) não possuíam uma visão explícita da sustentabilidade, sem a devida consideração das opções simbióticas ou de partilha de serviços, e não envolviam suficientemente as empresas no

desenvolvimento de instrumentos e políticas de implementação, tendo um impacto ambiental limitado. Os métodos de planejamento apresentavam muitas deficiências: a definição de sustentabilidade não era clara e não havia padrões quantitativos. A informação sobre simbiose e compartilhamento de utilidade era inadequada, as implicações econômicas e organizacionais foram largamente ignoradas e os impactos ambientais monitorados de forma insuficiente (LEEUWEN *et al* 2003).

O aumento do nível de conscientização de parte da sociedade por novos modelos de produção mais sustentáveis foi uma das motivações para o surgimento dos PEI's. Graças aos novos meios de comunicação, especialmente a internet, a população passa a ter uma visão mais completa dos impactos causados ao meio ambiente pelos modelos de economia tradicionais (SANTOLIN; CATEN, 2015).

Os PEI's podem ser tidos como instrumentos para garantir o desenvolvimento industrial em áreas urbanas e ao mesmo tempo auxiliar a promover os benefícios para as comunidades locais, nas áreas econômicas, sociais e ambientais. Os parques eco-industriais representam uma categoria especial em comparação com os parques industriais convencionais, pois compõem uma categoria que é diferente da clássica devido ao fato de serem projetados de tal forma que promovam a colaboração entre empresas para reutilizar materiais recicláveis e fontes renováveis de energia. Nesta visão, em um parque eco-industrial, a forma como uma empresa opera sua produção é levada em consideração ao garantir a atividade de manutenção geral do parque para que ele atinja sinergia de diferentes empresas de forma ecossistêmica do ponto de vista de uso de recursos e otimização do consumo de energia (BUGNAR; MESTER, 2013).

Os PEI's são um exemplo de tentativas deliberadas de se aplicar os princípios da Ecologia Industrial (EI) em regiões específicas. Aplicar a ecologia industrial implica em adotar uma perspectiva geográfica, e na identificação de sinergias entre as empresas (GIBS; DEUTZ; 2007). Segundo FLEIG (2000), os PEI's contribuem para a promoção do desenvolvimento industrial sustentável, auxiliando nas estratégias das empresas para a implantação de um novo modelo de desenvolvimento econômico local que contribui para a estratégia de desenvolvimento das empresas e para a preservação dos recursos naturais.

Segundo LOWE (2001), os PEI's trazem inúmeros benefícios, para as indústrias, para o meio ambiente e para a sociedade, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das comunidades vizinhas.

Os principais benefícios foram relacionados na tabela 03, apresentada a seguir:

Tabela 3: Benefícios dos PEI's para as Indústrias, Meio Ambiente e Sociedade

QUEM?	BENEFÍCIOS DOS PEI's
Indústrias	Auxiliam na redução direta dos custos de produção, contribuindo para ações de eficiência energética, redução de resíduos e melhor atendimento das exigências regulatórias governamentais.
Meio Ambiente	Contribuem para a redução das fontes de poluição e resíduos, diminuindo a demanda por recursos naturais, por meio da adoção de políticas conjuntas entre as empresas que compõem o parque, com políticas integradas para prevenção da poluição, redução do consumo de água, eficiência energética, recuperação de recursos naturais e preservação do meio ambiente.
Sociedade	Contribuem para o desenvolvimento econômico das comunidades locais. Os PEI's auxiliam na atração de novas empresas com novos nichos de mercado, além de representarem um empreendimento industrial mais limpo e sem impactos ambientais significativos para as comunidades vizinhas.

Fonte: Adaptado de LOWE, 2001

As experiências de implantação de parques industriais clássicos, reunindo empresas com interesses, cultura corporativa, procedimentos administrativos e estratégias distintas, forneceu uma grande variedade de exemplos bem-sucedidos. Por outro lado, existem também exemplos mal-sucedidos, especialmente nos casos em que o ambiente de negócios se desenvolveu em regiões pobres, com altos índices de poluição, congestionamento de veículos, além da exploração irracional de recursos naturais. Estudos de caso realizados nos parques industriais europeus, onde mais de 75% da população vive em áreas urbanas, levou a um aumento da pressão sobre o melhor aproveitamento dos recursos locais (BUGNAR, MESTER, 2013).

Com os crescentes conflitos entre o crescimento econômico, a exploração do meio ambiente e a falta de recursos, a criação dos parques Eco-industriais aplicando

conceitos da economia circular tem se apresentado como uma das melhores soluções para se atingir o desenvolvimento sustentável (ZHAO; ZAHO; GUO, 2016).

Embora existam muitos parques industriais, a grande maioria opera de forma insustentável, por uma exploração irracional e excessiva dos recursos da área/região. Assim, os parques eco-industriais não chegam a solucionar esses problemas, mas determinam a comunidade local / as partes interessadas a considerar a estratégia de desenvolvimento da área e das empresas envolvidas de acordo com o princípio da utilização conjunta racional dos recursos que possuem. A capacidade de inovar e intensificar as relações entre os diferentes envolvidos é a principal característica desta nova abordagem (BUGNAR, MESTER, 2013).

Porém o grande desafio para a implementação dos parques eco-industriais que integrem os conceitos de EI é saber como se pode conseguir encorajar e romper as barreiras que prejudicam a colaboração entre as empresas envolvidas e as partes interessadas de forma a desenvolver um equilíbrio saudável entre todos os interesses, promovendo o desenvolvimento sustentável (SAKR *et al,* 2011).

Os PEI's são entidades que só podem funcionar com base em uma gestão muito eficiente, uma gestão que começa com a fase de projeção e, implicitamente, a descoberta de algumas empresas que se tornarão parceiras e que podem gerar entre elas conexões na utilização das entradas e saídas. Todas as ações de gestão de um parque ecológico convergem nas três direções fundamentais: responsabilidade econômica, responsabilidade ecológica e responsabilidade social (BUGNAR, MESTER, 2013).

2.5 DA ECONOMIA LINEAR PARA A ECONOMIA CIRCULAR

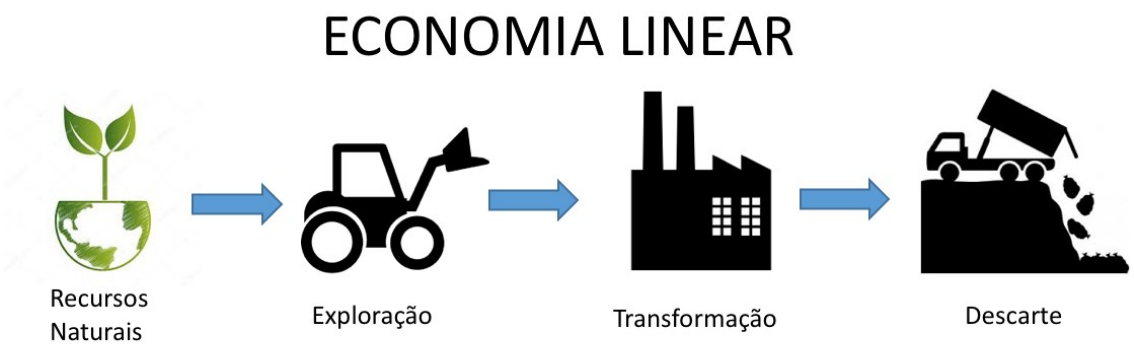
Economia linear é o termo utilizado para o atual modelo de crescimento econômico, onde "linear" se refere ao fluxo da maioria dos recursos naturais da

origem na natureza até o final do ciclo de vida (também descrito como "*take-make-waste*") ou seja explorar, transformar e descartar.

Este fluxo linear é a consequência de fontes de recursos historicamente baratas e abundantes que levam as empresas e nações a se concentrarem em fornecer aos clientes um fluxo de bens cada vez maior (LACY; RUTQVIST, 2015).

No modelo linear, representado na figura 5, o impacto ambiental não é mensurado, e os incentivos para minimizar o desperdício durante o uso e o fim da vida do produto são fracos. Pouca atenção é dada para garantir que as mercadorias descartadas sejam colocadas em uso novo ou voltadas para um processo de produção como matéria-prima (LACY; RUTQVIST, 2015).

Figura 5: Fluxo de Economia Linear

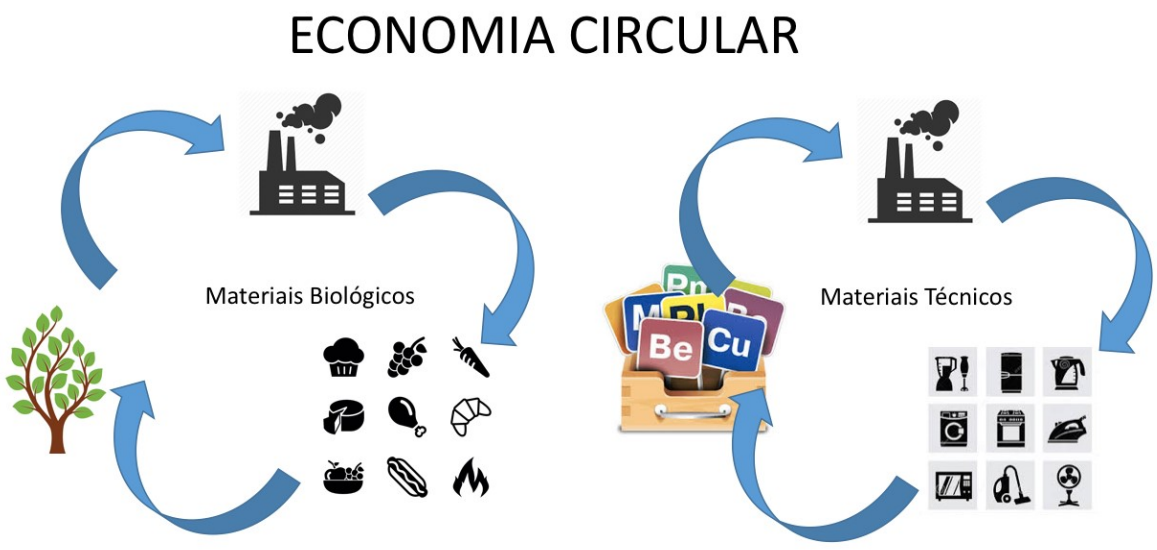


Fonte: Adaptado da publicação Ellen Macarthur Foundation, 2015

O processo de transição para a economia circular pode ser considerado a maior revolução dos últimos 250 anos e uma excelente oportunidade de organizar a produção e o consumo em uma economia globalizada. Trata-se de uma mudança radical nas relações entre mercados, clientes e recursos naturais. A Economia Circular também representa uma oportunidade para as empresas criarem vantagem competitiva, ou “Vantagem Circular”, interrompendo a forma tradicional de como se produz e consome por meio de modelos de negócios inovadores, tecnologias digitais, engenharia e os processos de apoio de todos estes sistemas (LACY; RUTQVIST, 2015).

A **economia circular** apresentada na figura 6 é um termo genérico para uma economia em que o crescimento é dissociado do uso escasso dos recursos. ***Este modelo é regenerativo por design ou projeto*** e surge como um planejamento sistêmico que investiga o equilíbrio entre as forças da natureza e os seres humanos pelos processos restaurativos, em que o uso de materiais é composto por dois tipos: materiais biológicos (renováveis), projetados para reuso e retorno final à biosfera; e materiais técnicos (não renováveis), projetados para ir e voltar entre produção e consumo com perda mínima de qualidade ou valor. As empresas em uma economia circular se concentram principalmente na criação de valor com base na gestão de recursos nos mercados, em oposição à gestão de recursos apenas na produção. Em última análise, a economia circular resulta em cadeias de valor zero de resíduos alimentadas por energia renovável, e os recursos naturais são usados em circuitos conectados ao invés de consumidos e descartados em fluxos lineares (LACY; RUTQVIST, 2015).

Figura 6: Economia Circular para Materiais Biológicos e Tecnológicos



Fonte: Adaptado da publicação Ellen Macarthur Foundation

O conceito de Economia Circular vem sendo desenvolvido há poucos anos (LACY; RUTQVIST, 2015), e atualmente se refere à dissociação do crescimento econômico da extração e consumo de recursos naturais escassos, como combustíveis fósseis ou metais e minerais difíceis de reciclar, em cujas situações a

dependência do recurso cria uma desvantagem competitiva ao longo do tempo. Em vez disso, as abordagens "circulares" mantêm os recursos em uso produtivo na economia o maior tempo possível. Para os negócios, trata-se de transformar resíduos em riqueza. Importante, "resíduo" aqui se refere a mais do que apenas resíduos físicos, isto é, lixo. Os resíduos podem ser classificados de 4 formas distintas:

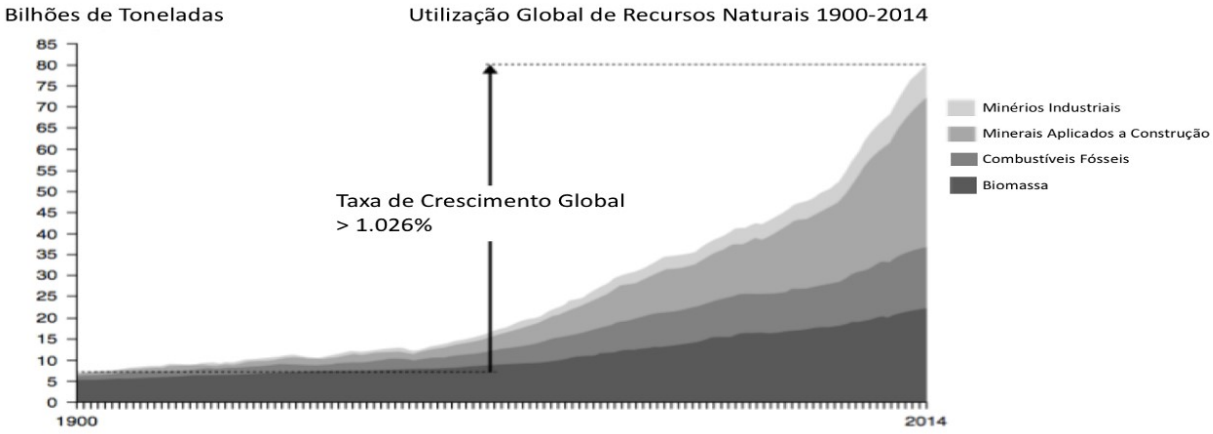
1. **Recursos desperdiçados**: são materiais e energia que não podem ser continuamente regenerados, mas em vez disso são consumidos e desaparecem para sempre quando usados.
2. **Produtos com ciclos de vida desperdiçados**: têm vidas úteis artificialmente curtas ou são eliminados mesmo que ainda existam pedidos por parte de outros usuários.
3. **Produtos com capacidade desperdiçada**: ficam ociosos desnecessariamente; por exemplo, os carros normalmente ficam sem uso por 90% do tempo de suas vidas.
4. **Produtos com valores agregados desperdiçados:** são componentes, materiais e energia que não são recuperados dos produtos descartados e são descartados sem serem colocados novamente em uso ou reciclados (LACY; RUTQVIST, 2015).

Os conceitos da EC possuem origens diversas, ligadas diretamente aos assuntos abordados nos tópicos anteriores, mas mais especificamente à biomimética, ao design *regenerativo,* à economia de *performance,* à análise de ciclo de vida dos produtos e à ecologia industrial.

A Economia Circular encara bens que estão no final dos seus ciclos de vida como recursos para outros produtos, fechando ciclos em ecossistemas industriais e minimizando desperdícios. A EC muda a lógica econômica, reutilizando o que é possível, reciclando o que não pode ser reutilizado, reparando o que está danificado e remanufaturando o que não pode ser reparado. Estudos de sete nações europeias revelaram que a migração para a economia circular reduziria as emissões de gases de efeito estufa de cada país em até 70% e aumentaria sua força de trabalho em 4%, promovendo a economia de baixo carbono (STAHEL, 2016).

A figura 7 apresentada a seguir mostra o crescimento exponencial do consumo dos recursos naturais no último século.

Figura 7: Utilização Global de Recursos Naturais 1900 - 2014



Fonte: Waste to Wealth (LACY & RUTQVIST, 2015).

Segundo LACY e RUTQVIST (2015), a Economia Circular permite que seja retirado o máximo proveito dos produtos, facilitando o comércio entre os demandantes por produtos e serviços, monetizando a recuperação de bens não utilizados, oferecendo opções de recompra convenientes, e a venda de serviços ao invés de produtos. Para isto as empresas terão que aprender mais sobre como os produtos são utilizados, o que os clientes realmente valorizam, e como eles interagem. Quando os resíduos são transformados em riqueza os benefícios são compartilhados entre empresas e clientes.

A energia é um insumo importante para atividades humanas. A produção e o consumo de energia estão intimamente relacionados com a economia da reciclagem e a melhor gestão do fluxo de materiais. De um lado, o apoio ao desenvolvimento socioeconômico sustentável, de outro lado, os processos de produção e consumo de energia. Os processos produtivos em geral geram grandes quantidades de resíduos, resultando em poluição. Desenvolver economia circular também é reduzir o consumo de energia e consequentemente reduzir a poluição de forma a alcançar um desenvolvimento econômico sustentável (LIHONG, HUI, 2010).

A **vantagem circular** é a vantagem competitiva obtida pelas organizações que adotam os princípios da economia circular como um elemento central de suas estratégias de crescimento. Ao dissociar o uso de recursos escassos e o crescimento, as organizações se protegem do aumento e volatilidade dos preços dos insumos, se tornam mais resistentes às interrupções no fornecimento e reduzem sua pegada ambiental. As organizações também têm acesso a uma variedade de ferramentas para aprimorar a proposta de valor do cliente, já que sua cadeia de valor se estende além do projeto, produção e vendas para o uso do produto - onde a maior parte do valor e conveniência reais são criados (LACY; RUTQVIST, 2015).

O fim do modelo de negócios tradicional e linear é eminente: Historicamente, para cada aumento de 1% no PIB, o uso de recursos aumentou em média 0,4 por cento. Entre 1975 e 2010 houve um aumento de 225 por cento no PIB mundial real e 64 por cento no crescimento da população que foram acompanhados por um aumento de 120 por cento na utilização de materiais. A população e o crescimento econômico são claramente motores do consumo de recursos. Mas, mais importante ainda, esses números demonstram que mesmo se a eficiência está aumentando na economia global, o uso líquido de recursos também está aumentando - rapidamente. Entre 2000 e 2013, cada crescimento de 1% no PIB foi seguido por um aumento médio dos preços dos insumos de 1,9%. O crescimento populacional aliado à expansão da classe média aumenta a demanda de recursos naturais mais rápido do que a inovação e a substituição por novos recursos conseguem acompanhar, e esta tendência tornará os negócios cada vez mais insustentáveis.

A população mundial cresce a uma taxa de 750 milhões de pessoas por década. Usando esta média serão acrescidos 2,5 bilhões de novos consumidores entre os anos de 2014 e 2030, aumentando a competição por recursos naturais. Sem uma inovação disruptiva nos modelos de negócios, as empresas que dependem de recursos primários e escassos verão suas linhas de produtos erodidas ou serão forçadas a aumentar os preços, enquanto uma parcela cada vez maior da renda familiar será perdida pela inflação dos preços dos insumos (LACY e RUTQVIST, 2015).

Segundo o grupo de pesquisas em EC dos observatórios do sistema da Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP), com a adoção dos conceitos da EC é possível:

- Aumentar a geração de empregos;
- Melhorar a competitividade econômica das organizações;
- Desenvolver e promover novos produtos e modelos de negócios;
- Preservar o meio ambiente, conservando o capital natural;
- Aumentar o ciclo de vida dos produtos;
- Diminuir os impactos ambientais.

Na figura 8 são apresentados, em números alguns dos benefícios obtidos pelas empresas ao se adotar as premissas de EC na gestão organizacional.

Figura 8: Benefícios da Economia Circular

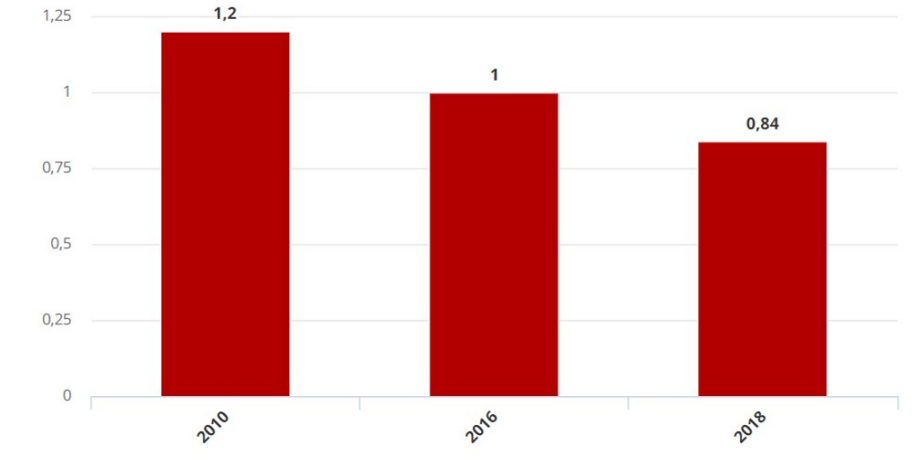
Fonte: Observatórios Sistema FIEP, 2020

2.6 ENERGIA E QUALIDADE DE VIDA

O desenvolvimento sustentável está diretamente ligado à disponibilidade de energia elétrica para a sociedade, energia esta se possível oriunda de fontes renováveis, com baixo impacto ambiental, com disponibilidade e de baixo custo de produção. Porém, segundo dados disponibilizados pelo Banco Mundial em relatório divulgado no ano de 2019, a realidade global ainda é bastante preocupante, pois cerca de 800 milhões de pessoas no mundo ou quase 10% da população mundial ainda não possuem acesso às fontes de energia para sua subsistência, e apesar da evolução nos últimos anos, este dado ainda nos mostra uma realidade alarmante e desafiadora, o que pode ser observado na figura 9 (EIA – 2015).

Os dados apresentados pelo EIA foram confirmados pelo fórum econômico mundial e escancaram uma desigualdade social que ainda existe e está presente em diversas nações pelo mundo. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o Brasil ainda apresenta 2 milhões de habitantes sem acesso a energia elétrica (WWF, 2020).

Figura 9: População Global sem Acesso à Energia Elétrica



Fonte: Relatório do Banco Mundial - 2019

Ou seja, como pode ser visto, apesar dos avanços constantes nos últimos anos, ainda existe um longo percurso a ser atingido quando falamos de energia como um recurso disponível e necessário para garantir a qualidade de vida das populações. Outro ponto importante é que, a partir do momento que são superadas desigualdades sociais, o consumo de energia da população tende a aumentar, o que traz desafios ainda maiores para a disponibilidade de recursos, como será visto a seguir.

2.6.1 Matriz Energética

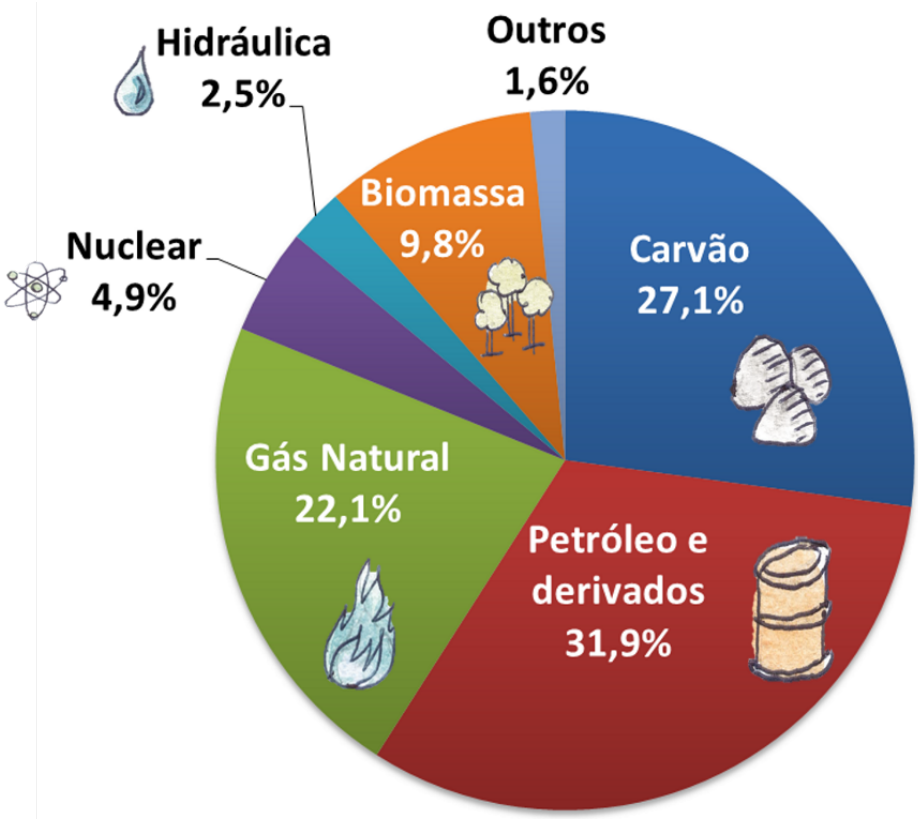
A seguir serão analisados os números de participação das principais fontes de energia na matriz energética mundial e comparados à situação brasileira. Estes dados consideram toda a energia consumida nos diversos setores, indústria, comércio, residencial e transportes e em todas as suas formas.

2.6.1.1 Matriz Energética Mundial

A matriz energética mundial é composta principalmente por fontes não renováveis de energia, como o carvão, petróleo e o gás natural (EPE, 2020).

O gráfico representado na figura 10 mostra como está distribuída a matriz energética mundial com relação às fontes de energia.

Figura 10: Matriz Energética Mundial 2016



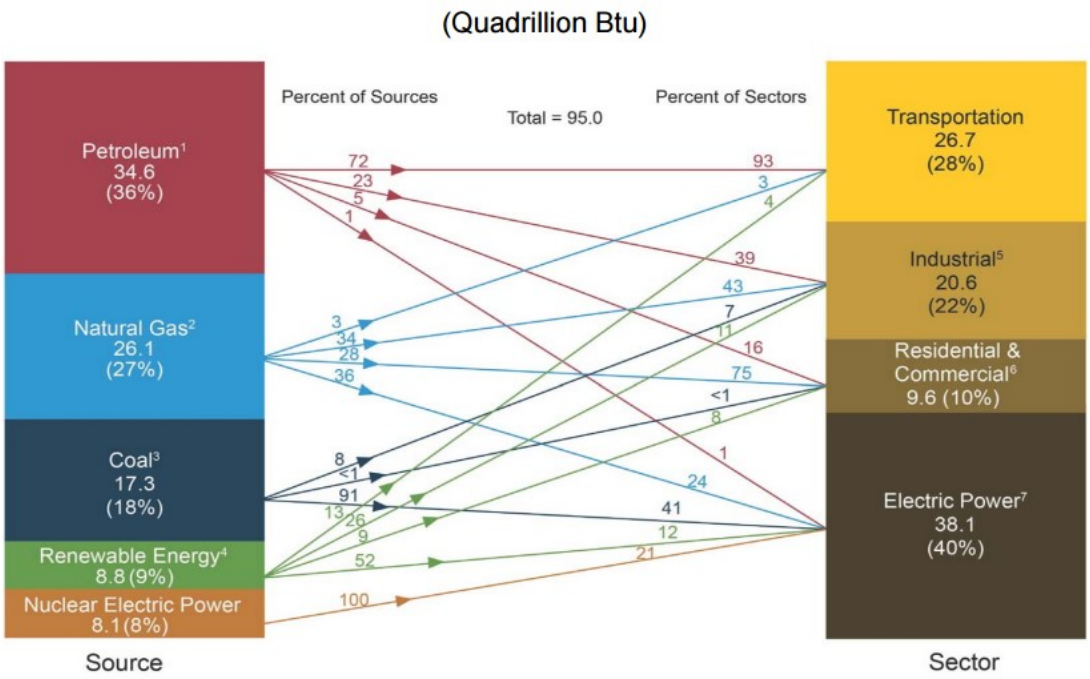
Fonte: Relatório reproduzido por EPE – 2020 e IEA/2018

De acordo com o gráfico apresentado na figura 10 as fontes de energia renováveis, geotérmica, eólica e solar, somadas conjuntamente representam somente 1,60% da matriz energética mundial, que somadas à participação da energia por biomassa e hidráulica, apresentam uma participação total de 14% das fontes renováveis de energia.

A seguir serão apresentados alguns relatórios que descrevem como está distribuída a matriz energética mundial com relação às fontes de geração assim como com relação aos principais setores de consumo.

A figura 11 mostra como se dá o padrão mundial de utilização de energia segundo dados da Agência Norte Americana de Informações Energéticas (Energy Information Administration – EIA 2015).

Figura 11: Padrões de Utilização de Energia Mundiais



Fonte: Energy Information Administration – EIA 2015

Apesar dos dados apresentados pela EIA serem um pouco anteriores aos da EPE, pode-se observar que boa parte da matriz energética mundial utiliza em forte escala recursos não renováveis, oriundos de combustíveis fósseis como petróleo, gás natural e carvão.

Estes dados da figura 11 são interessantes, pois apresentam a estratificação de utilização da energia por setores da economia e pela aplicação da mesma. Assim pode-se observar, pelos dados apresentados ao lado direito, que o setor de transportes é responsável por aproximadamente 28% do consumo global de energia, o setor industrial por 22%, o residencial e de comércio por 10% e os sistemas de consumo de energia elétrica são responsáveis por consumir 40% do total de recursos energéticos disponíveis e gerados pelas diversas fontes. Neste ponto referente à energia elétrica, novamente tem-se a subdivisão por setores de indústria versus comércio e residências.

Analisando especificamente o setor industrial a partir dos dados apresentados, vê-se que este setor utiliza 89% de sua energia consumida oriunda de fontes não renováveis e apenas 11% de fontes renováveis.

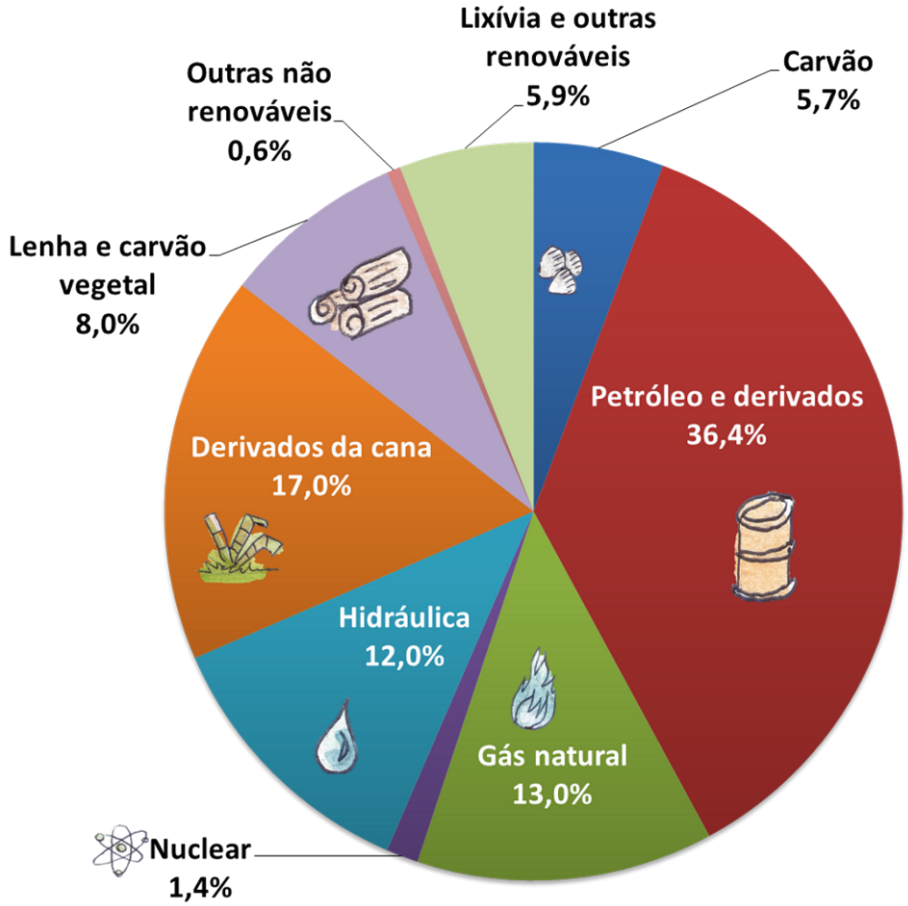
Estes dados apresentados são muito importantes, pois reforçam a importância estratégica apresentada no projeto de pesquisa de se identificar oportunidades de implementação dos conceitos de economia circular no setor industrial e em especial de poder conciliar estes conceitos com projetos de eficiência energética, para se viabilizar, junto à produção industrial global, melhoria nos níveis de desenvolvimento sustentável.

2.6.1.2 Matriz Energética Brasileira

Segundo relatórios e estudos elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entidade vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), denominados Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), a situação da matriz energética brasileira é mais vantajosa com relação às fontes de energia renovável, especialmente no setor de energia elétrica, mas também no setor de transportes devido à utilização do etanol. A EPE é responsável por efetuar o planejamento energético brasileiro traçando diretrizes estratégicas para o futuro, buscando a sustentabilidade e a disponibilidade da energia de forma a atender à demanda nacional com segurança.

Na figura 12 pode-se observar como está composta a matriz energética brasileira com relação às principais fontes de energia renováveis versus as fontes de energia não renováveis.

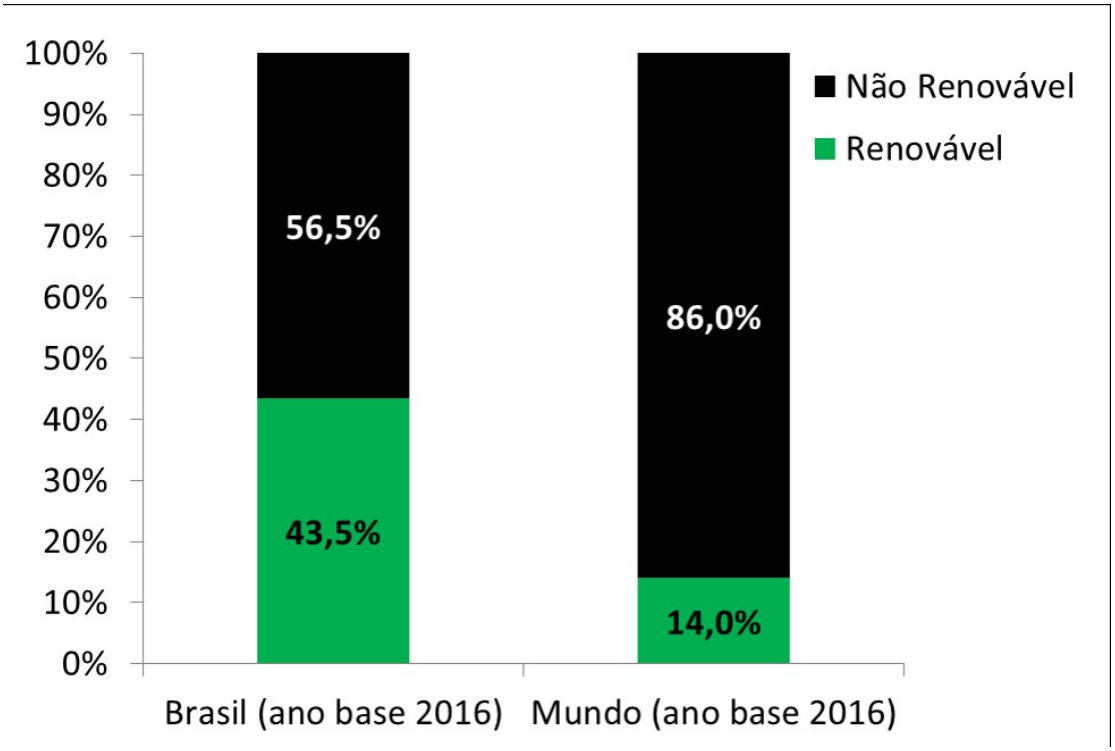
Figura 12: Matriz energética brasileira 2017



Fonte: EPE – Balanço Energético Nacional (2018)

Como se pode notar a participação das fontes renováveis de energia no Brasil representa quase 44% do total da energia gerada e disponível ante a uma média mundial de apenas 14%. Estes dados tornam o Brasil o país com a matriz energética mais limpa e renovável do planeta, especialmente em consumo e volumes de geração devido ao tamanho do país e por ser uma das principais economias do planeta. Esta comparação pode ser observada na figura 13 e no relatório apresentado pela EPE através do Balanço Energético Nacional (BEN) 2018.

Figura 13: Gráfico de Participação das Fontes de Energia no Brasil e no Mundo



Fonte: BEN 2018

2.6.2 Matriz Elétrica

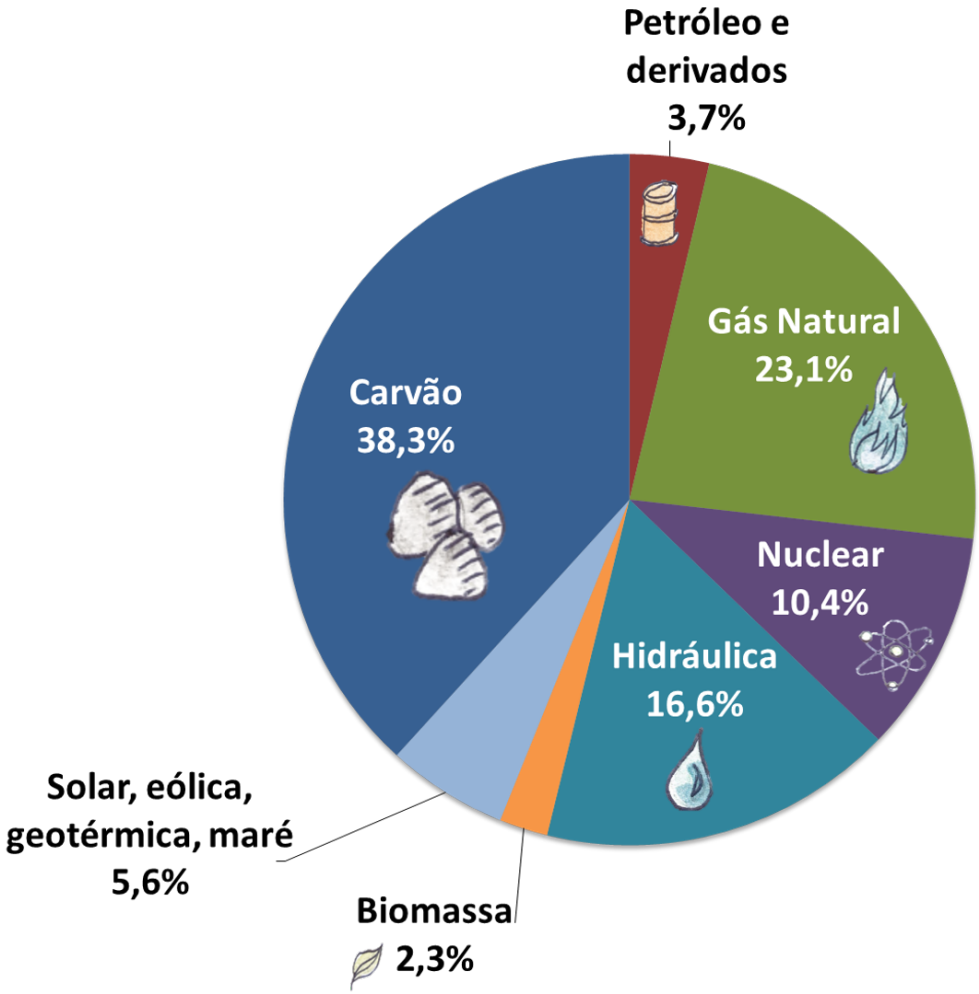
Os dados apresentados anteriormente sobre a matriz energética mostram a utilização da energia aplicada a todos os segmentos da economia, já os dados que serão apresentados a seguir referem-se à utilização das principais fontes de energia para a geração de energia elétrica, ou seja, a matriz elétrica.

2.6.2.1 Matriz Elétrica Mundial

A principal fonte de geração de energia elétrica no mundo ainda é proveniente de combustiveis fósseis, principalmente do petróleo, carvão e do gás natural, e o processamento é feito nas usinas termelétricas. Os dados da figura 14 mostram

como se dá a participação das principais fontes de energia na matriz elétrica mundial (IEA, 2018).

Figura 14: Matriz Elétrica Mundial



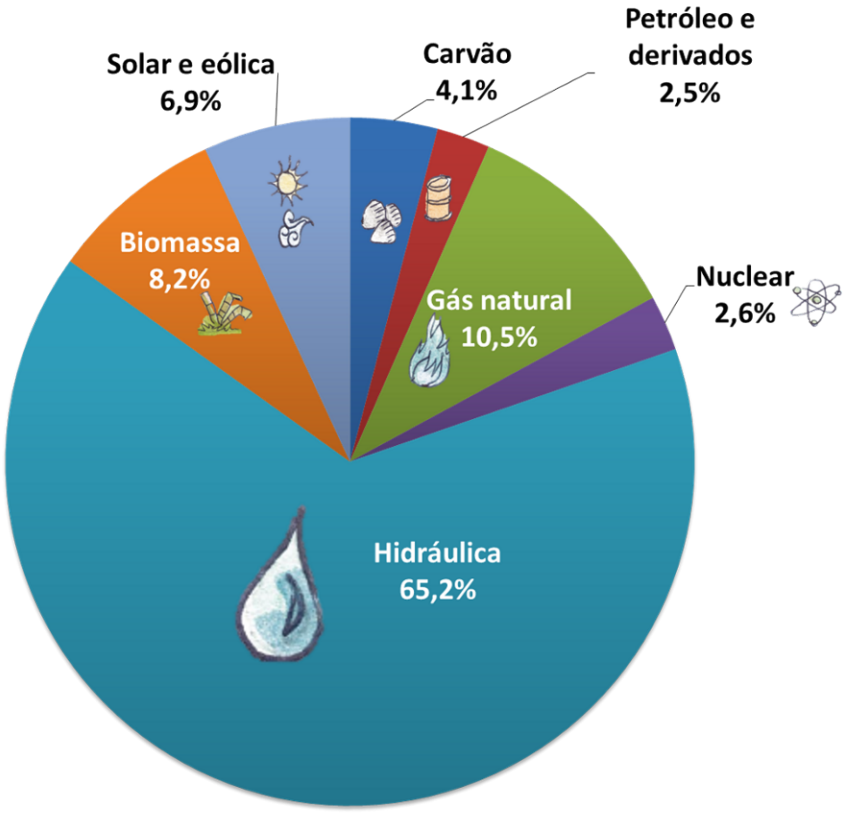
Fonte: EPE – Balanço Energético Nacional (2018)

2.6.2.2 Matriz Elétrica Brasileira

Com relação à matriz elétrica brasileira (figura 15), tem-se números ainda melhores em relação à matriz energética, isto por que grande parte da geração de energia elétrica no Brasil origina-se da fonte hídrica, e nos últimos anos, fontes como a eólica e a solar vêm crescendo substancialmente. Isso contribui para que a energia

elétrica do Brasil seja cada vez mais limpa, produzida em sua maior parte a partir de fontes renováveis.

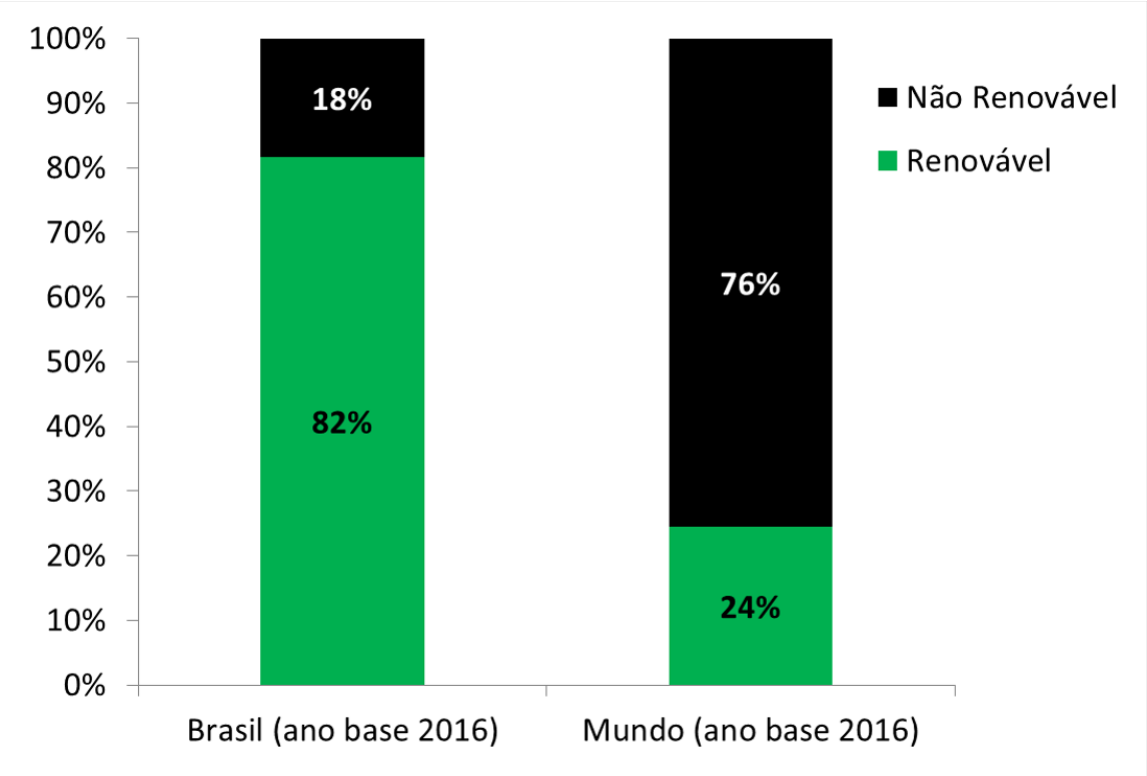
Figura 15: Participação das fontes de energia na matriz elétrica brasileira



Fonte: EPE – Balanço Energético Nacional (2018)

A partir dos dados aprensentados obtém-se o gráfico da Figura 16, que apresenta uma comparação entre as matrizes elétricas brasieira e mundial com relação à participação das fontes renováveis e não renováveis. Na matriz elétrica brasileira, a participação das fontes renováveis de energia é de 82%, sendo essa a matriz elétrica mais limpa do mundo.

Figura 16: Participação das fontes de energia no Brasil e no mundo na matriz elétrica

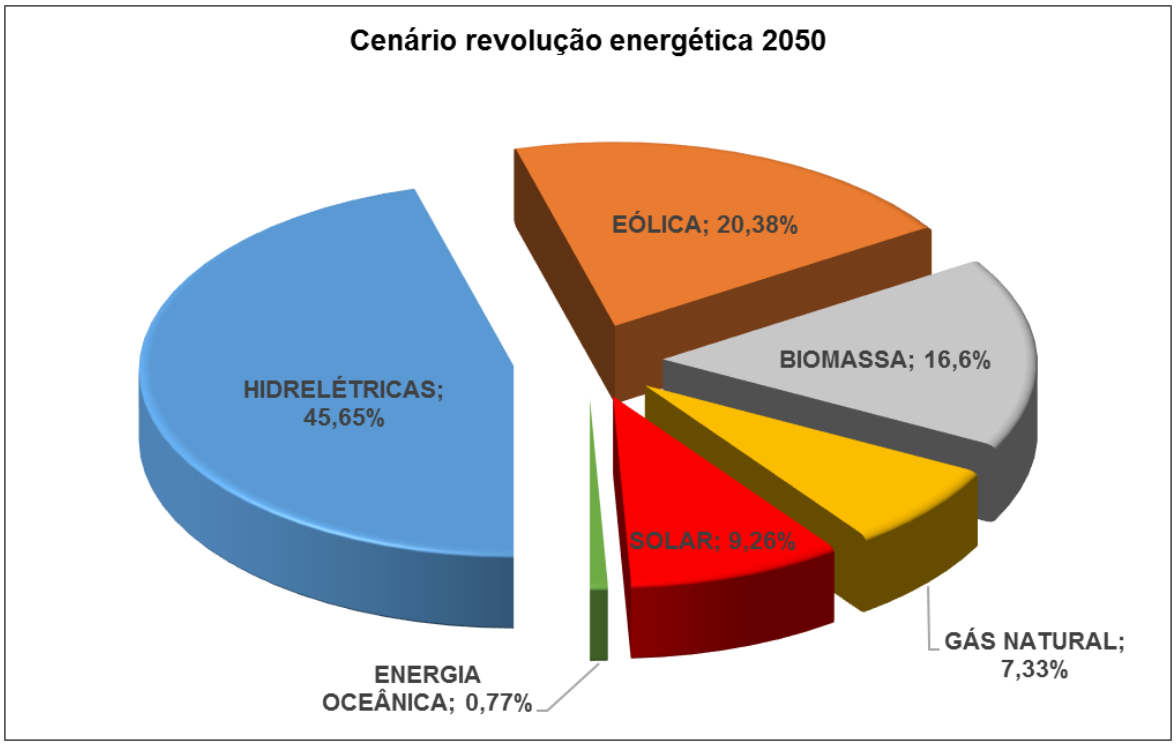


Fonte: EPE – Balanço Energético Nacional (2018)

Apesar de o Brasil estar bem posicionado globalmente com relação à utilização das fontes renováveis de energia, como pode-se ver anteriormente, na matriz energética temos ainda a participação de 56,5% de fontes não renováveis de energia oriundas de combustiveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural (figura 13).

Estudos realizados pela Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE) projetam uma significativa melhora para a matriz elétrica brasileira nos próximos anos, como pode ser visto na figura 17 onde é apresentada uma projeção otimista em um cenário que a EPE chama de Cenário de Revolução Energética 2050.

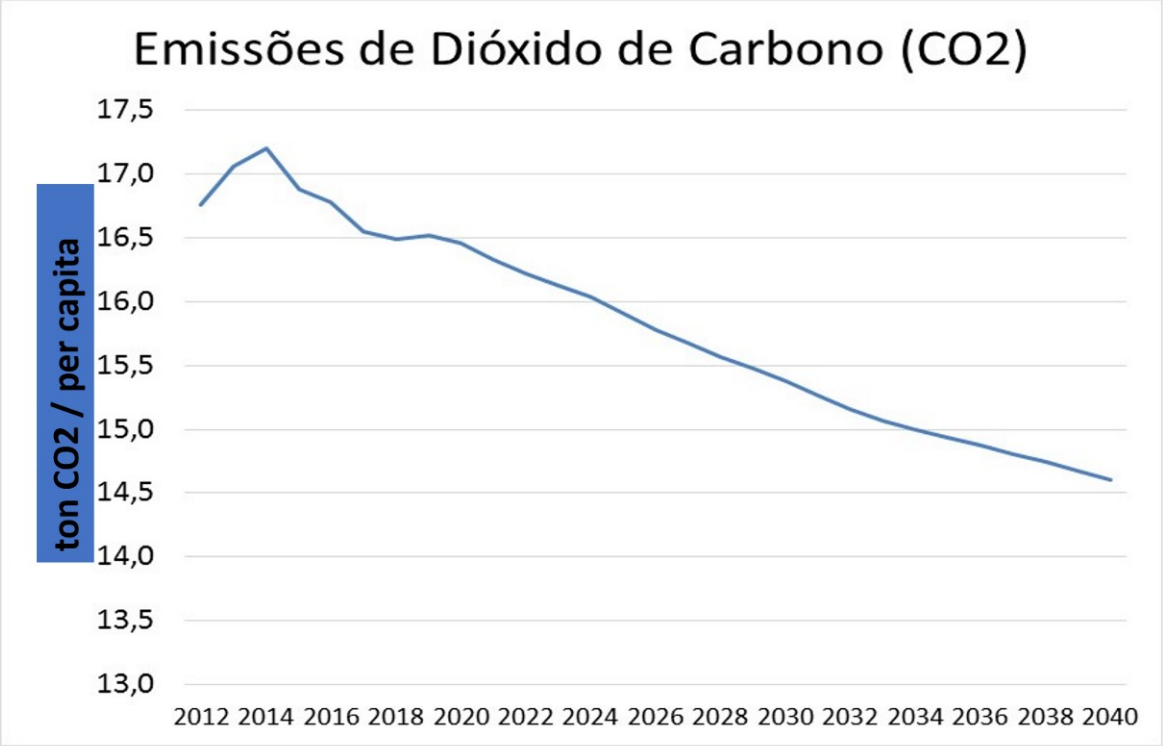
Figura 17: Cenário Revolução Energética 2050



Fonte: SBPE – Relatório Cenário Energético 2050

Este cenário projetado pela SBPE apresenta resultados interessantes com relação à utilização dos recursos naturais. Estas projeções otimistas apresentam um cenário que confimaria a posição do Brasil como o país dentetor da matriz energética mais limpa do mundo, com mais de 90% de toda a energia gerada oriunda de fontes renováveis. Outro ponto importante é que graças a esta nova configuração da matriz energética pode-se observar a projeção de como se dará a dimuição dos índices de emissões de dióxido de carbono (CO_2), benefício diretamente proporcional à substituição dos recursos não renováveis, fontes de combustíveis fósseis, pelas fontes renováveis de energia. Este resultado projetado pode ser observado na figura 18.

Figura 18: Projeção da redução de Emissões de Dióxido de Carbono (CO_2)



Fonte: SBPE – Relatório Cenário Energético 2050

A redução de emissões de dióxido de carbono projetada para os próximos 20 anos é de aproximadamente 2 toneladas de CO_2/per capita em relação ao cenário atual em 2020.

2.7 BIOMASSA E BIOCOMBUSTÍVEIS

A biomassa é a matéria-prima orgânica alternativa ao petróleo bruto e ao gás natural. Biomassa é um termo geral aplicável a todos os materiais derivados de micro-organismos, plantas e animais. A biomassa vegetal é cultivada para fazer alimentos e ração animal, produtos de base biológica e também pode ser queimada para obter energia renovável (SHERWOOD, 2020).

Apesar de atualmente a biomassa não ter uma representação tão significativa na matriz energética mundial e nacional, esta realidade já foi muito diferente no passado. Em 1850 a biomassa representava 85% do consumo mundial de energia e, mais ainda, antes disso era praticamente a única forma de energia usada pelo homem, além da força dos ventos (para navegação), animais domesticados (na agricultura) e pequenas quantidades de carvão para aquecimento residencial (GOLDEMBERG, 2009).

O consumo não sustentável de recursos, a redundância de produtos, o desperdício e a poluição precisam ser evitados. Políticas de promoção de energia renovável e produtos de base biológica têm elevado a importância das matérias-primas à base de biomassa. Isso ajuda a criar as condições que permitem uma economia circular através do uso de materiais renováveis. Esta é uma forma de simbiose industrial, onde o desperdício de uma operação (material ou energia) é a entrada de outra (SHERWOOD, 2020).

A poluição ambiental é um dos maiores problemas enfrentados pela humanidade hoje. Um problema fundamental relacionado à poluição é o descarte de grandes quantidades de resíduos que são continuamente produzidos (MURALIKRISHNA e MANICKAM, 2017). Aproximadamente 100 bilhões de toneladas métricas de resíduos de biomassa são geradas anualmente no mundo (TERRA GREEN, 2019). Resíduos de biomassa abrangem uma ampla gama de materiais que incluem resíduos florestais, resíduos agrícolas, resíduos do processamento de frutas e resíduos do processamento de outros alimentos. Esses tipos de resíduos podem causar sérios problemas de saúde ou ambientais se não forem descartados adequadamente (ALATZAS et al., 2019). Portanto, desenvolver uma estratégia ecológica e eficaz para usar e gerenciar vários tipos de resíduos de biomassa é crítico. A conversão enzimática é considerada uma tecnologia amiga do ambiente que pode potencialmente ajudar a substituir completamente ou reduzir o uso de produtos químicos perigosos na indústria de processos. A conversão enzimática oferece potencial para rendimentos mais elevados, maior seletividade e menores custos de energia e gera menos subprodutos inibitórios. Além disso, as enzimas são extremamente importantes para a decomposição da biomassa em seus constituintes primários, e podem ser aplicadas à transformação a jusante de

componentes de biomassa em blocos de construção ou commodities químicas (JIN CHO et al 2019).

No Brasil, a biomassa já ocupa uma posição de destaque sendo a segunda principal fonte com uma participação de 25% na matriz energética, como se pode observar nos dados apresentados na Figura 12 ao somarmos os percentuais dos recursos de biomassa oriundos de cana de açúcar (17%) com os de lenha e carvão vegetal (8%).

2.7.1 Fontes de Biomassa

A utilização da biomassa como fonte de energia vem ganhando cada vez mais força na matriz energética global e brasileira como pôde ser obervado nos dados apresentados nos itens anteriores. A biomassa pode ser obtida através de toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal (EPE – 2020), sendo classificada da seguinte forma:

a) Material orgânico de origem vegetal, como: vegetais lenhosos (madeiras), vegetais não lenhosos (sacarídeos, celulósicos, amiláceos e aquáticos), resíduos orgânicos (agrícolas, industriais, urbanos) e biofluidos (óleos vegetais).

b) Material orgânico de origem animal através de excrementos que após sua decomposição, produzem gases.

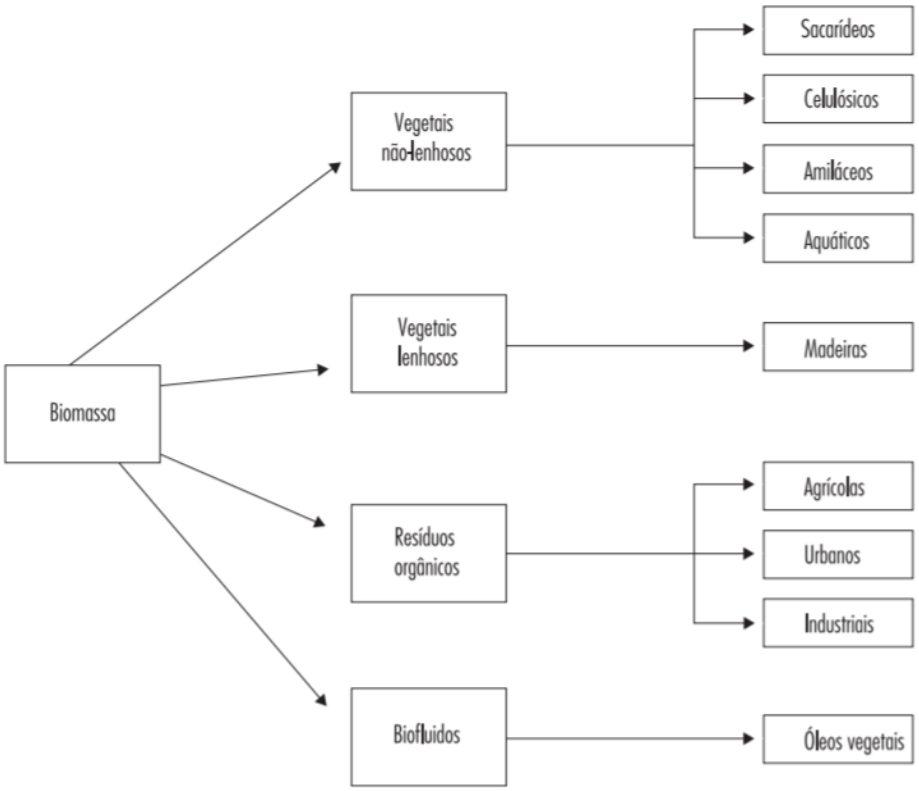
O Brasil possui situação privilegiada para produção de biomassa em larga escala, pois existem extensas áreas cultiváveis e condições climáticas favoráveis ao longo do ano. Cerca de 9% da energia elétrica produzida no país é gerada a partir de biomassa (MC, 2019).

Entre os principais produtos agrícolas usados como fonte energética alternativa encontra-se a cana de açúcar, que é aproveitada para a produção de álcool e energia elétrica a partir do bagaço (MC, 2019).

Os dejetos urbanos, industriais e agropecuários são matérias orgânicas que podem ser transformadas em biogás, o qual possui alto poder calorífico (semelhante ao do gas natural) e é usado para produção de energia em residências, indústrias, motores, entre outras aplicações.. A queima da madeira ainda é bastante usada na indústria, para geração de energia.

O diagrama apresentado na figura 19 apresenta os principais tipos de biomassa.

Figura 19: Principais Tipos de Biomassa



Fonte: MME, 2019

2.7.2 Vantagens da Utilização da Biomassa

Resíduos de biomassa são normalmente vistos como um material de baixo valor e ainda são muito subutilizados. No entanto, seu papel como um recurso útil para a criação de resultados de valor agregado é cada vez mais reconhecido (KOUTINAS et al., 2014). Resíduos de biomassa contêm maior fração de oxigênio e menor porcentagem de hidrogênio e carbono em comparação com recursos de petróleo, e as biorrefinarias de biomassa podem provavelmente produzir mais famílias de produtos químicos do que as refinarias de petróleo (ISIKGOR e BECER, 2015). O desenvolvimento eficiente de resíduos de biomassa em produtos inovadores pode atender às preocupações ambientais, reduzir a dependência de recursos de petróleo e aumentar a eficiência econômica (JIN CHO et al 2019).

As principais vantagens da utilização da biomassa devem-se ao fato de ser uma fonte de energia de baixo custo, fácil exploração, resultar em baixa emissão de gases poluentes, e de que a mesma pode ser obtida através de uma grande variedade de materiais, além de poder ser produzida e gerada próximo ao centro consumidor, dependendo de sua aplicação (CÓRTEZ et al, 2008).

Outro ponto é que, além de permitirem reduzir a dependência energética em relação aos combustíveis fósseis, os combustíveis derivados de biomassa são produzidos a partir de plantas que absorvem CO_2 e permitem a produção e utilização de combustíveis com reduzida emissão de gases de efeito estufa, os principais responsáveis pelo aquecimento global (REIS, 2019).

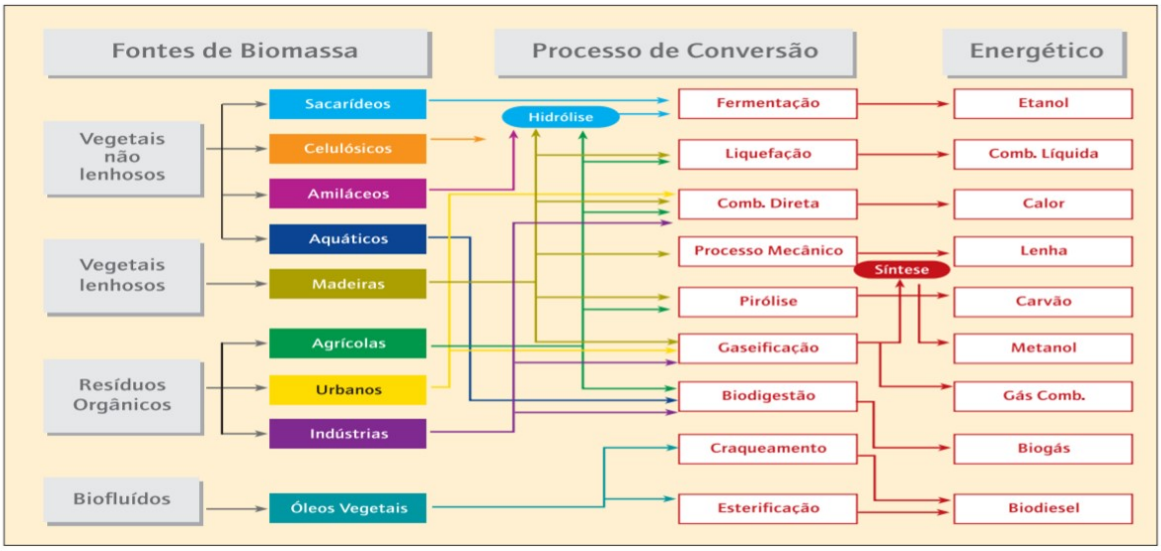
A biomassa é altamente significativa em uma economia circular em termos de produtos, materiais e fornecimento de energia. Para estabelecer uma bioeconomia circular, as implicações práticas do uso da biomassa precisam ser apreciadas pelas partes interessadas em toda a cadeia de valor, desde o design do produto até a gestão de resíduos (SHERWOOD, 2020).

2.7.3 Tecnologias de Aproveitamento da Biomassa

O aproveitamento da biomassa pode ser feito através da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação) (ANEEL, 2002).

Na figura 20 tem-se um diagrama esquemático produzido pelo MME que descreve os principais processos de conversão energética da biomassa.

Figura 20: Diagrama Esquemático dos Processos de Conversão Energética da Biomassa



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, ANEEL, 2008.

O Atlas de Energia produzido pela ANEEL descreve as principais tecnologias de aproveitamento da biomassa que são: Combustão Direta, Gaseificação, Pirólise, Digestão Anaeróbica, Fermentação e Transesterificação.

2.7.3.1 Combustão Direta

Com relação aos processos de aproveitamento da biomassa, o processo de combustão direta é o mais tradicional, barato e simples. Ele é executado através da queima direta do material orgânico com o objetivo de obtenção de calor. Este processo ocorre em fornos gerais e de metalurgia, assim como em caldeiras e aquecedores de passagem para obtenção de calor (ANEEL, 2019).

A combustão trata-se de um processo termoquímico de oxidação completa da matéria-prima, produzindo a partir deste processo gás carbônico (CO_2), vapor de água, cinzas e energia calorífica. Esta energia pode ser aproveitada para aquecer outros materiais em substituição ao gás natural por exemplo, ou ainda para produzir energia através de processos auxiliares (DEROJAS, 2016).

2.7.3.2 Pirólise e Gaseificação

Os processos de gaseificação e pirólise têm sido aplicados aos tratamentos de resíduos desde a década de 1970, mas a aplicação dessas tecnologias para Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) não encontrou, até agora, uma difusão mundial, exceto para o Japão, onde muitas plantas inovadoras foram construídas, geralmente com base no processo de gaseificação e, em pequena escala, na pirólise (PANEPINTO et al, 2015).

A pirólise corresponde à transformação térmica da biomassa na condição de ausência de oxigênio, principalmente para a produção de combustíveis líquidos e químicos alternativos (LI; SUZUKI, 2009).

Segundo o Atlas de Energia produzido pela ANEEL, a gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, através de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão). Há vários tipos de gaseificadores, com grandes diferenças de temperatura e/ou pressão. Os mais

comuns são os reatores de leito fixo e de leito fluidizado. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo, particularmente se é ar ou oxigênio que está sendo usado na oxidação.

Segundo SHERWOOD (2019), gaseificação é uma tecnologia de gerenciamento de resíduos em expansão, convertendo resíduos orgânicos em gás de síntese (CO e H_2) diretamente em vez de metano. Isso desempenha a mesma função que a produção de metano e a reforma a vapor, mas em uma única etapa, e remove o limite da eficiência máxima teórica imposta pela digestão anaeróbica. Na prática, as tecnologias de gaseificação de resíduos orgânicos municipais têm produtividade, pureza de gás de síntese e razões $CO:H_2$ variáveis. A digestão anaeróbica pode ser integrada à gaseificação para fornecer mais benefícios. Por exemplo, os digestados da digestão anaeróbia podem ser usados como matéria-prima para a gaseificação, ou o bio-carvão coproduzido na gaseificação pode ser usado para estabilizar a digestão anaeróbica e melhorar a retenção de nutrientes no digestado para aplicações fertilizantes. As tecnologias integradas de gestão de resíduos criam maior valor a partir de resíduos mistos, processando uma proporção maior da matéria-prima e, como tal, são uma inovação essencial para uma economia circular.

2.7.3.3 Digestão Anaeróbica

A digestão anaeróbia é uma abordagem valiosa para lidar com resíduos, historicamente lodo de esgoto e estrume, mas cada vez mais outras matérias orgânicas também. A escala de operação variável, de doméstica a industrial, a torna versátil, e uma planta de digestão anaeróbia eficiente oferece uma redução significativa no potencial de aquecimento global em comparação com a compostagem e a incineração. Um produto valioso é obtido na forma de metano, que pode ser utilizado como combustível em escala local ou nacional com infraestrutura adequada (SHERWOOD, 2020).

A digestão anaeróbica em geral utiliza fluxos mistos de resíduos de baixo valor e converte seus nutrientes, especialmente os carboidratos, em metano com uma eficiência de carbono máxima teórica de 50%. Isso ocorre porque o balanço de carbono teórico da acetogênese microbiana, seguida da metanogênese, produz uma quantidade equimolar de dióxido de carbono que, então, precisa ser separado junto com outros produtos gasosos a depender da aplicação (SOLARTE-TORO, 2018).

Membranas estão sendo desenvolvidas para melhorar o balanço energético dessa separação. Na realidade, a matéria-prima da digestão anaeróbica conterá uma variedade de substâncias (algumas inibitórias), não apenas carboidratos. Estudos de otimização de geração de metano produziram rendimentos de até 0,70 L / g de sólidos voláteis a partir de resíduos alimentares após inoculação com bactérias hidrolisantes de lignocelulose, e 0,43 L / g de metano foi obtido a partir da co-digestão de papel e lodo de polpa com resíduos de alimentos (maior rendimento em relação a apenas resíduos de papel ou polpa). Alternativamente, diferentes bioprocessos podem ser utilizados para adaptar a composição do produto (SHERWOOD, 2020).

Muitos desafios estão sendo enfrentados ao longo da trajetória que a digestão anaeróbia precisa seguir para contribuir com todo o seu potencial em uma bioeconomia circular. Embora a digestão anaeróbica seja uma tecnologia estabelecida, a pesquisa mostra que há muitas opções pelas quais se busca uma maior eficiência. Pré-processamento, projeto otimizado de reatores de tanque, projeto de processo, monitoramento e controle são áreas ativas de pesquisa. A produtividade de uma planta de digestão anaeróbia está sujeita à qualidade dos resíduos de biomassa que ela processa (SHERWOOD, 2020). A co-digestão de diferentes fluxos de resíduos é vista como um método para aumentar a produção de metano e permitir o processamento de resíduos alimentares e de colheitas, melhorando a viabilidade econômica e os impactos do ciclo de vida. Priorizar o desperdício local inevitável da cadeia de abastecimento de alimentos é preferível, mas somente alcançável com maior cooperação das partes interessadas. Além disso, a proporção de material rejeitado deve ser consistentemente baixa para que a planta seja economicamente viável (ABAD, 2019).

2.7.3.4 Fermentação

Os processos de fermentação são aplicados na produção de biocombustíveis, como o etanol. Têm-se os biocombustíveis de primeira geração, ou aqueles que são obtidos a partir de culturas agrícolas tradicionais (fontes sacarinas ou amiláceas), ou os biocombustíveis de segunda geração, oriundos de biomassa residual, normalmente lignocelulósica. Contudo, esta classificação nem sempre é simples, e muitas vezes não é adequada, dependendo da matéria-prima e do processo utilizados, bem como de incertezas quanto aos impactos ambientais. Termos como "maior geração" ou mais "avançados", utilizados para caracterizar os biocombustíveis, sugerem superioridade. No entanto, esta superioridade, em termos de sustentabilidade, não necessariamente se verifica e precisa ser avaliada criticamente para cada tipo de biocombustível (UNEP, 2009).

Segundo KARP *et al* (2011) os biocombustíveis podem ser classificados como todos os combustíveis renováveis derivados de biomassa. No Brasil o mais comum é a utilização dos biocombustíveis líquidos, devido a programas de incentivos governamentais que foram introduzidos, o primeiro deles como Proálcool em 1975 (decreto 76,593), que estabeleceu a produção de etanol a partir de “culturas energéticas”. Posteriormente vieram programas de incentivo à produção do biodiesel. O biodiesel é obtido a partir de óleos orgânicos e o bioetanol é produzido a partir da fermentação de hidratos de carbono (açúcar, amido, celulose). Já os biocombustíveis gasosos têm origem nos efluentes agropecuários/industriais e urbanos (lamas das estações de tratamento dos efluentes domésticos) e ainda nos aterros. São constituídos por uma mistura de gases, em que o metano é o gás predominante, sendo esta mistura denominada biogás.

A fermentação alcoólica ocorre no interior de microrganismos capazes de converter açúcares assimiláveis (substrato oxidado) em etanol (substrato reduzido), através de uma série de reações bioquímicas, reguladas enzimaticamente. A oxidação parcial do substrato, gerando um composto orgânico reduzido, garante um mínimo de produção de energia para manutenção celular e o equilíbrio oxidativo (CINELLI, 2012).

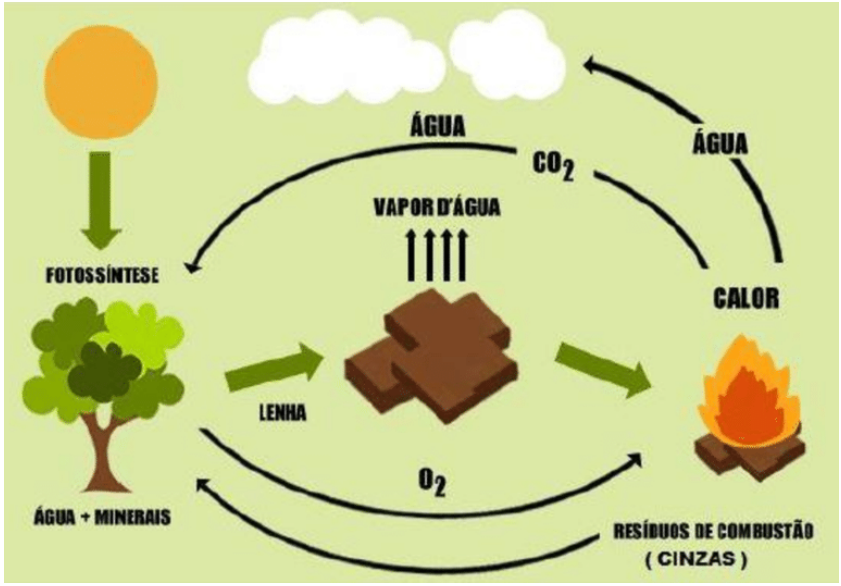
2.7.3.5 Transesterificação

O processo de transesterificação corresponde à reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo obtido pela reação entre metanol ou etanol e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio). Os derivados são a glicerina e o biodiesel. Atualmente, o biodiesel é produzido no Brasil a partir da palma e babaçu (região Norte), soja, girassol e amendoim (regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste) e mamona (semiárido nordestino), entre outras matérias-primas de origem vegetal (ANEEL, 2019).

2.7.4 Ciclo Energético da Biomassa

Segundo CORTEZ e LORA (2008), a renovação da biomassa se dá pelo ciclo do carbono, em que a decomposição ou a queima de matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO_2 na atmosfera; as plantas, através da fotossíntese, transformam CO_2 e água nos hidratos de carbono, que compõem sua massa viva, liberando oxigênio. Desta forma a utilização da biomassa não altera a composição média da atmosfera ao logo do tempo. Este processo pode ser observado na figura 21.

Figura 21: Ciclo Energético da Biomassa



Fonte: Biomassa para Energia, 2008.

3 METODOLOGIA

A busca do saber e do conhecimento tem sido a preocupação maior do ser humano. O avanço técnico e científico depende da maneira em que um trabalho é desenvolvido mediante a utilização de métodos que permitam separar sempre o verdadeiro do falso (PARRA FILHO e SANTOS, 2012).

Uma das metas do desenvolvimento metodológico é esclarecer sobre qual das diversas possibilidades de análise do fenômeno em estudo esta pesquisa foi realizada. Assim, para verificação do problema exposto, é fundamental o detalhamento dos aspectos relacionados à especificação do problema, ao delineamento e à delimitação da pesquisa, bem como os procedimentos de coleta e tratamento dos dados (CARSTENS, 2007).

3.1 PROCEDIMENTO ADOTADO

Do ponto de vista da abordagem, este projeto de pesquisa é qualitativo, com objetivo exploratório, adotando como procedimento técnico o estudo de caso com pesquisa participante para implementação de um modelo de solução a ser aplicado nas empresas geradoras de resíduos que possuam potencial de aproveitamento dos mesmos como biomassa a ser explorada na forma de energia adotando os princípios de circularidade.

3.2 ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O desenvolvimento da economia industrial foi historicamente pautado em uma economia linear, cuja lógica de produção, uso e descarte predominou por muitas

décadas. A partir da conscientização ambiental, somada à escassez de recursos e à necessidade de otimizar a produtividade empresarial, conceitos como o da economia circular ganham força e entram na atual pauta das organizações que buscam aumentar a competitividade. Neste sentido, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa:

"**Como podemos utilizar os resíduos orgânicos industriais para melhorar a eficiência energética nos parques industriais, aplicando os conceitos de Economia Circular que possam ser utilizados como inspiração para outras indústrias?"**

Para realização deste trabalho de tese foi escolhida pelo autor a empresa Renault do Brasil (RdB), localizada no munícipio de São José dos Pinhais no estado do Paraná.

3.2.1 Perguntas ou Hipóteses de Pesquisa

Pesquisas sobre governança devem trabalhar com metodologias de caráter exploratório, uma vez que as respostas levantas no processo de coleta e análise de dados não podem ser tomadas como definitivas e tampouco trazem modelos prontos e prescritivos sobre a situação analisada. Neste sentido, apresentam-se as seguintes perguntas de pesquisa:

- Quais são os principais resíduos gerados pela fábrica da Renault do Brasil (RdB) na planta de São José dos Pinhais no estado do Paraná denominada Complexo Airton Senna (CAS)?
- Quais são as principais práticas de sustentabilidade adotadas no CAS?
- De que forma as atuais práticas de sustentabilidade estão alinhadas com a teoria da economia circular?
- De que forma os resíduos disponíveis podem ser aproveitados como biocombustíveis para produção de energia no CAS?

3.2.2 População e Amostra

A pesquisa aplicada foi desenvolvida dentro da fábrica da RdB no CAS, analisando todos os dados apresentados pela área de sustentabilidade com os volumes e classificações dos resíduos gerados. Foram realizadas visitas técnicas para identificar oportunidades de melhoria e propor projetos de circularidade na empresa.

3.2.3 Procedimentos de Coleta de Dados

Os dados gerais a respeito da empresa foram coletados através do GRI 2018 (*Global Reporting Initiative*), o relatório global de sustentabilidade.

Além disto foram efetuadas visitas técnicas na fábrica para se compreender o processo industrial e identificar oportunidades de implementação de circularidade com aproveitamento interno de resíduos, para aumento da eficiência energética.

3.2.4 Procedimentos de Tratamento e Análise dos Dados

Os dados coletados foram classificados, estratificados e apresentados de forma a dar ampla visão sobre a gestão de resíduos praticada atualmente na empresa, permitindo identificar durante os estudos os resíduos que poderiam ser aproveitados para geração de energia e em quais partes do processo essa estratégia poderia ser aplicada.

3.2.5 Facilidades e Dificuldades na Coleta e Tratamento dos Dados

A grande facilidade na coleta de dados foi decorrente da transparência e da importância com que a empresa trata o tema de sustentabilidade, disponibilizando todos os dados em relatórios abertos ao mercado, permitindo a realização de visitas

técnicas, para observação do processo produtivo e de geração de resíduos sem qualquer dificuldade de acesso à informação.

3.2.6 Limitações da Pesquisa

A pesquisa limitou-se à planta da Renault no CAS e aos dados de geração de resíduos disponibilizados através do Relatório Global de Sustentabilidade fornecido pela empresa e publicado através do GRI 2018.

3.3 ASPECTOS ÉTICOS ENVOLVIDOS NA CONDUÇÃO DA PESQUISA

Por se tratar de uma análise de oportunidades de melhoria e implementação dos conceitos de economia circular, o que se buscou identificar junto à empresa foi como a mesma administra seus resíduos e gerencia os aspectos e impactos ambientais provocados pelos processos produtivos, um item muito delicado, pois pode expor deficiências e problemas nos processos produtivos que muitas vezes são tratados de maneira confidencial pelas empresas. Para se viabilizar a apresentação do trabalho, então, foram utilizados dados que são públicos e apresentados em relatórios abertos ao mercado e à comunidade.

Trata-se de uma pesquisa cujos resultados podem oportunizar melhoria de desempenho, melhor qualidade de vida para as pessoas, aumento do ciclo de vida dos produtos e melhor eficiência energética e dos processos produtivos aprimorando o desenvolvimento sustentável, questão cada vez mais relevante para aumento da competitividade das empresas.

Os resultados apresentados nesta tese possibilitarão que mais empresas possam se inspirar e aderir a boas práticas de gestão ambiental, aprimorando a busca pelo desenvolvimento sustentável na condução dos negócios, adaptando as soluções adotadas em novos projetos de circularidade e eficiência energética.

4 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente estudo de caso foi realizado na empresa Renault do Brasil (RdB) na fábrica localizada no município de São José dos Pinhais estado do Paraná conhecida como Complexo Airton Senna (CAS).

A figura 22 apresenta uma vista área do CAS.

Figura 22: Vista Aérea do CAS

Fonte: Renault do Brasil

Segundo dados disponibilizados pela área de imprensa da RdB o CAS ocupa uma área de 2,5 milhões de m^2 em que 60% desta área é de preservação ambiental.

É considerada uma planta de fabricação completa para o setor automotivo por comportar internamente quatro fábricas da marca no Brasil:

1. Fábrica de Injeção de Blocos de Alumínio
2. Fábrica de Motores
3. Fábrica de Automóveis
4. Fábrica de Veículos Utilitários

As fábricas de blocos de alumínio e motores são responsáveis por suprir a demanda interna do CAS, mas também são responsáveis por exportar para diversas outras fábricas do grupo Renault no mundo, tornando a unidade fabril ainda mais importante e estratégica para o grupo.

Atualmente o CAS gera aproximadamente 7.378 empregos diretos e 25.000 indiretos e durante o ano de 2017 atingiu a marca de 167.000 veículos produzidos, registrando uma participação recorde no mercado brasileiro de 7,7%.

A presente pesquisa iniciou-se na RdB durante o segundo semestre do ano de 2017 com os primeiros contatos e visitas técnicas, oportunidade em que foi possível participar de um diagnóstico mais aprofundado na empresa com objetivo de melhorar a eficiência energética do CAS, em um evento denominado de “Jornada da Eficiência Energética”.

4.1 POLÍTICA DO MEIO AMBIENTE DA RENAULT DO BRASIL

Os dados apresentados no GRI 2019 do grupo RdB informam que a empresa possui certificação ISO 14.001 e que tem como meta e política prevenir e reduzir de maneira contínua a pegada ecológica e os impactos sanitários das atividades industriais, destacando-se as seguintes ações: controle do consumo energético e das emissões atmosféricas, utilização consciente das matérias primas e redução na origem e maximização da valorização dos resíduos, entre outras.

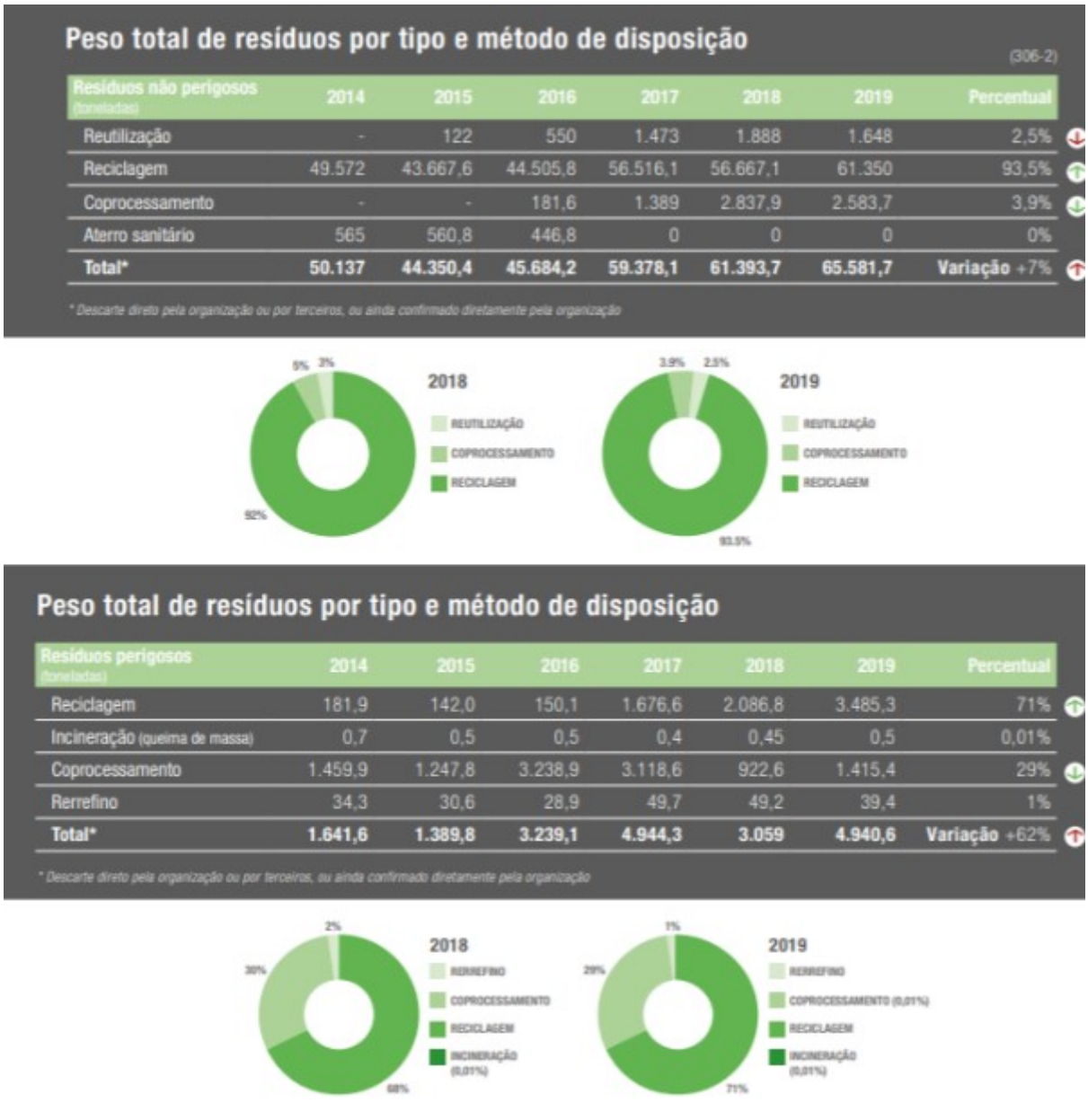
De acordo com o GRI 2019 o grupo definiu como meta a redução de 25% da pegada de carbono ao longo do ciclo de vida de seus produtos até 2022.

Ainda segundo o GRI 2019 o CAS adotou e implementou a política de aterro zero, conseguindo reciclar ou reutilizar 100% dos resíduos sólidos gerados no processo de produção, com exceção dos resíduos provenientes do centro médico que são incinerados.

O volume total de resíduos gerados no CAS em 2019 foi de 65.581,7 toneladas, média de 5.465 toneladas por mês.

A figura 23 apresenta o volume total de resíduos gerados e a forma de destinação adotada ao longo dos anos, demonstrando uma evolução no processo de gerenciamento ambiental adotado pela empresa.

Figura 23: Peso total de resíduos por tipo e método de disposição



Peso total de resíduos por tipo e método de disposição (306-2)

Resíduos não perigosos (toneladas)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Percentual
Reutilização	-	122	550	1.473	1.888	1.648	2,5%
Reciclagem	49.572	43.667,6	44.505,8	56.516,1	56.667,1	61.350	93,5%
Coprocessamento	-	-	181,6	1.389	2.837,9	2.583,7	3,9%
Aterro sanitário	565	560,8	446,8	0	0	0	0%
Total*	**50.137**	**44.350,4**	**45.684,2**	**59.378,1**	**61.393,7**	**65.581,7**	**Variação** +7%

* Descarte direto pela organização ou por terceiros, ou ainda confirmado diretamente pela organização

Peso total de resíduos por tipo e método de disposição

Resíduos perigosos (toneladas)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Percentual
Reciclagem	181,9	142,0	150,1	1.676,6	2.086,8	3.485,3	71%
Incineração (queima de massa)	0,7	0,5	0,5	0,4	0,45	0,5	0,01%
Coprocessamento	1.459,9	1.247,8	3.238,9	3.118,6	922,6	1.415,4	29%
Rerrefino	34,3	30,6	28,9	49,7	49,2	39,4	1%
Total*	**1.641,6**	**1.389,8**	**3.239,1**	**4.944,3**	**3.059**	**4.940,6**	**Variação** +62%

* Descarte direto pela organização ou por terceiros, ou ainda confirmado diretamente pela organização

Fonte: GRI 2019 – RdB

O aumento no volume de resíduos gerados entre os anos de 2018 e 2019 deve-se ao fato do aumento do volume de produção e à inauguração da nova fábrica de blocos de alumínio que foi concluída ao longo do ano de 2018, operando durante o ano de 2019.

A empresa demonstra adotar os conceitos de EC e vem utilizando políticas de incentivo e projetos consolidados de implementação, gerando uma economia anual para a empresa de 45 milhões de reais em 2019.

Boa parte dos materiais recebidos pela empresa chegam em embalagens de madeira utilizando pallets. A RdB desenvolveu um sistema de reaproveitamento interno de boa parte destes pallets. A figura 24 mostra este exemplo de reclassificação e reuso de pallets.

Figura 24: Pallets Reutilizados

Fonte: GRI 2019, RdB

A empresa possui um software de gestão ambiental denominado Plataforma Verde que auxilia no controle documental e na emissão dos relatórios da área, sendo fundamental para o acompanhamento dos dados e definição das metas de sustentabilidade.

A tabela 4 apresenta em números alguns exemplos dos resíduos gerados e as ações de circularidade que são adotadas pela empresa para com os mesmos.

Tabela 4: Resíduos x Destinação

Material	Origem	Destino	Quantidade (toneladas)
Baterias	Peças de veículos recusados ou destruídos	Logística reversa – desmontadas e reutilizadas pelo fabricante na produção de novas baterias	132,44
Bitucas de cigarro	Descarte nos locais apropriados dispostos pela empresa	Reciclagem em hidrossemeadura para revegetação de taludes	0,24
Borra de fosfato	Processo de pintura	Reciclagem como matéria prima na produção de solventes e produtos químicos	21,79
Borra de tinta	Processo de pintura	Reciclagem como matéria prima na produção de solventes e produtos químicos	407,74
Caliça	Resíduo de construção civil	Reciclagem na matéria prima para preparação de asfalto	134,51
Copos plásticos	Copos de água e cafezinho	Reciclagem como resina para fabricação de cadeiras plásticas	73,34
Descarte de emulsão	Emulsão oleosa gerada no processo de filtragem das centrais de usinagem	Recuperação parcial de água e óleo	830,95
Isopor	Embalagens	Reciclagem na fabricação de sancas e rodapés	16,32
Lâmpadas	Iluminação em geral	Descontaminação de lâmpadas usadas com a recuperação do mercúrio líquido para reciclagem e reutilização do produto	4,35
Madeira	Pallets e sucatas de madeira	Reciclagem em diversos processos que utilizam madeira	5.371
Metálicos em geral	Fabricação de veículos e motores	Reciclagem como matéria-prima metálica para outros processos fabris	46.530,61
Óleo lubrificante usado	Manutenção de equipamentos industriais e sobras acumuladas	Rerrefino para produção de graxa e outros derivados	39,43
Papel	Papel de impressão e papel toalha	Reciclagem na fabricação de papel/papelão	82,35
Papelão	Conjunto de embalagens	Reciclagem na fabricação de papel/papelão	6.906,16
Plástico em geral	Conjuntos de embalagens e peças recusadas	Reciclagem na fabricação de plásticos em geral	1.640,06
Resíduo orgânico	Resíduo gerado nos restaurantes	Alimentação animal no estado do Paraná	1.037,39
Resíduo de sílica	Embalagens	Reciclagem na matéria prima para preparação de asfalto	588,59
Solvente a base d'água	Processo de pintura	Reciclagem como matéria prima na produção de solventes e produtos químicos	552,45
Sucata de vidro	Peças de veículos recusados ou destruídos	Reciclagem na fabricação de vidro	59,52
Thinner	Processo de limpeza	Reciclagem como matéria prima na produção de solventes e tintas para piso	80,86
Outros Materiais			6.011,70
Total de materiais reinseridos no processo produtivo*			**70.521,80**

*Inclui resíduos destinados à reciclagem, reutilização, rerrefino e coprocessamento. Não inclui resíduos perigosos destinados à incineração.

Fonte: GRI 2019, RdB

4.2 VISITAS TÉCNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES

A maior parte dos processos industriais utilizados pela RdB foram instalados no final do século passado em 1998, quando da implantação das primeiras operações da planta industrial no munícipio de São José dos Pinhais. Muitas tecnologias, principalmente para os sistemas de utilidades, evoluíram, o que abre a oportunidade para se atualizar tecnologicamente os processos, melhorando a eficiência dos sistemas, reduzindo com isto os impactos ambientais e o consumo de energia.

Como pode ser observado nos dados apresentados no item anterior a RdB sempre esteve imbuída em aprimorar os resultados de sustentabilidade da unidade do CAS. Este fato facilitou muito a condução da pesquisa assim como a realização das visitas de diagnóstico na empresa. Os primeiros contatos com a empresa iniciaram ao final do ano de 2017 visando conhecer melhor as práticas de sustentabilidade e as aplicações de EC da empresa, após uma participação do Gerente de Meio Ambiente da Renault em uma apresentação da empresa realizada no programa de Doutorado da Universidade Positivo em Gestão Ambiental, sobre as ações e iniciativas de economia circular e gestão ambiental praticadas pelo Grupo Renault no Brasil.

Durante a visita o gestor ambiental da Renault convidou doutorandos a visitarem a empresa para participarem do desenvolvimento de projetos de pesquisa em economia circular na empresa. Com esta oportunidade, conciliando os estudos para elaboração da tese de doutorado e visitas técnicas ao CAS é que foi desenvolvida a presente pesquisa.

A partir de algumas visitas técnicas efetuadas na empresa pelo autor foram apresentadas à RdB algumas oportunidades de melhoria que poderiam ser estudadas para aumentar a EE da unidade diminuindo os impactos ambientais.

As oportunidades identificadas foram as seguintes:

Oportunidade 01 - Novos Chillers com Coeficientes de Operação (COP's) Melhores

As duas primeiras oportunidades apresentadas referem-se a melhorias nos processos de refrigeração instalados no CAS.

Atualmente existem resfriadores de líquido (chillers) que possuem coeficientes de operação (COP) com relação kW/TR melhores que os existentes na Renault em função de novas tecnologias implantadas no ciclo de compressão a vapor. Uma das possibilidades de aumento de eficiência e economia de energia é estudar a substituição dos chillers atuais (que consomem diariamente 5MWh de energia elétrica) por chillers mais eficientes. A expectativa é que essa substituição gere um retorno sobre o investimento em até 03 anos de operação do novo sistema.

O conceito de COP é explicado por CLETO (2017) em um guia elaborado para o Ministério do Meio Ambiente (MMA), visando aprimorar o rendimento dos sistemas de climatização e a eliminação dos gases refrigerantes à base de HCFC através da utilização de chillers de refrigeração mais eficientes.

Oportunidade 02 – Chillers Atuais com COP's Melhores

Ainda segundo o estudo publicado por CLETO (2017) o COP (kW/TR) depende dos seguintes fatores:

- Da temperatura de evaporação (vaporização);
- Da temperatura de condensação;
- Propriedades (funções de estado) do refrigerante na sucção do compressor.

Foi identificado que a temperatura de saída de água gelada dos chillers instalados na Renault é de 6°C. Essa temperatura foi tomada como padrão dos projetos de resfriamento de água nas décadas de 80 e 90 e tornou-se uma "regra". As serpentinas de resfriamento dos climatizadores são dimensionadas para essa

temperatura de entrada pois necessitam desumidificar o ar por resfriamento. Seja para Processos Industriais (Pintura), seja para Conforto (Escritório).

Ao aumentar a temperatura da água gelada, a temperatura de evaporação será elevada e o COP pode melhorar significativamente, diminuindo o consumo elétrico dos chillers (CLETO, 2017).

Oportunidade 03 - Sistema de Água Quente – Recuperação de Calor

Há calor residual nos condensadores dos chillers e no resfriamento dos compressores de ar (Atlas Copco). Na visita realizada no CAS em abril de 2017, foi informado pelo Departamento de Manutenção que há uma parcela pequena de recuperação de calor das torres de resfriamento. Pode-se estudar a possibilidade de adequação dos compressores de ar com unidades controladoras de recuperação de energia para aumentar o aproveitamento atual no pré-aquecimento dos geradores de água quente.

Oportunidade 04 - Sistema de Água Quente - Mudança de Matriz Energética (Pellets de Madeira)

Figura 25: Pellets de Madeira

Fonte: Fotografia do autor

A mudança da matriz energética para a geração de água quente pode ser uma excelente opção em relação à matriz utilizada originalmente oriunda de combustível fóssil, o gás natural (GN). Foi proposta a realização de um estudo com a aplicação de pellets de madeira. Os pellets são uma fonte de energia renovável, pertencentes à classe da biomassa, provenientes de desperdícios de madeira, a partir de serragem de madeira refinada e seca, que depois é comprimida.

A grande vantagem de um combustível granulado é a alimentação automática, não sendo necessária a presença de um funcionário alimentando a fornalha do equipamento. Os pellets para aquecimento são granulados cilíndricos com 6 a 8 mm de diâmetro e 10 a 40 mm de comprimento. A alta densidade dos pellets para aquecimento também permite um armazenamento compacto e um transporte mais econômico.

Nesta oportunidade os Pellets seriam adquiridos junto ao mercado e utilizados em lugar do GN, o custo dos pellets comparados ao GN é de cerca de 40% para a mesma eficiência em processo.

Poder Calorífico e Eficiência

- PCI (Poder Calorífico Inferior) do Pellet de Madeira – 4.600 kcal/kg

- Gás Natural (GN): Para cada 1.000 kg de GN consumidos por mês são emitidos 35.900 kg de gases de efeito estufa por ano (GIODA, 2018).

- GN: m³/mês de GN = 22.700 kg/ano

- EE: 1 kWh = 300 kg/ano de gases de efeitos estufa (GIODA, 2018).

- A emissão zero de CO_2 é para qualquer tipo de pellet feito a partir de biomassa (CORTEZ e LORA, 2008).

Pellets x GN

O GN sendo composto na sua maior parte por propano tem um poder calorífico de 11.000 kca/kg. O Pellet possui um poder calorífico de 4.600 kcal/kg (JAVIER, 2015). Portanto: 11.000 kcal/kg ÷ 4.600 kcal/kg = 2,39 . Este é o fator

multiplicador de quantidade de combustível (Pellet) para fazer a equivalência energética com o GN. Para obter o gastos operacionais (OPEX) basta multiplicar esta quantidade pelo valor pago pelo Pellet.

Onde pellet é a biomassa comprimida através da trituração dos paletes.

Oportunidade 05 - Matriz Energética Complementar – Biomassa (Paletes de Madeira)

Os paletes de madeira são uma excelente opção para a geração de energia elétrica e/ou energia térmica. A RdB gera uma quantidade expressiva de paletes (aprox. 500 ton/mês) que podem ser utilizados para a geração de energia. A madeira do palete possui aproximadamente 4.200 kcal/kg (considerando-se uma umidade média).

500 ton/mês = 20 ton/dia = 800 kg/h (valores aproximados). Essa quantidade pode gerar aproximadamente 700 kWh de energia elétrica, com retorno sobre o investimento de aproximadamente 2 anos.

O processo básico consiste na Trituração dos Paletes ou resíduos de embalagens de madeira – Retirada Magnética dos Metais – Alimentação do Gaseificador – MotoGerador.

4.3 PROJETO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ÁGUA QUENTE A PARTIR DE BIOMASSA

As sugestões de economia circular apresentadas foram analisadas internamente, submetidas à matriz na França e após discutidas entre o pesquisador, a equipe interna de engenharia da RdB e o gestor ambiental tomou-se a decisão de implementar uma solução que seria uma mescla das oportunidades 4 e 5

apresentadas. Sendo assim optou-se pelo desenvolvimento do projeto apresentado a seguir:

Desenvolver, instalar e transferir a tecnologia e operação para a RdB de um sistema de geração de água quente com a utilização dos resíduos de madeira e embalagens não reciclados de forma a utilizá-los como energia em substituição ao GN para o sistema de aquecimento de água utilizado no processo de pintura de veículos da fábrica de automóveis, um projeto completo envolvendo EC, com a utilização da biomassa oriunda dos resíduos de embalagens do CAS e Eficiência Energética (EE) com a substituição da matriz energética de origem fóssil, representada pelo GN.

Este desafio de desenvolvimento tornou-se o escopo principal do projeto de tese aplicado a este estudo de caso neste projeto de pesquisa-ação.

4.3.1 Características do Sistema atual de aquecimento

Para desenvolvimento do projeto a RdB forneceu algumas características de funcionamento do sistema, de forma a subsidiar o desenvolvimento da solução.

Os processos de fabricação e de climatização da RdB demandam água quente constantemente. Na área de utilidades da fábrica de veículos de passeio existe um sistema de aquecimento baseado em aquecedores a gás natural que fazem a geração e a distribuição da água quente aos processos. O sistema de água quente opera em 3 turnos (24 horas/dia), com início na noite de domingo (início 22:00) até a manhã de sábado (06:40). Esta água quente é fornecida basicamente para aquecimento dos sistemas produtivos da Pintura e para climatização dos ambientes de escritórios. A climatização de escritórios demanda energia em dias frios enquanto o processo produtivo demanda energia constantemente.

A vazão de água quente demandada pelo processo de pintura está entre 40m^3/h e 200 m^3/h, com uma vazão média em torno de 110 m^3/h. A temperatura da

água quente de envio para a Pintura CVP está em torno de 85°C e a de retorno para a central de água quente está em torno de 65°C.

4.3.2 Premissas para desenvolvimento do projeto

- **Premissa 01: Limite de investimento**

Com intuito de viabilizar o projeto foi definido o montante de investimento disponível para o fornecimento em R$ 2.300.000,00 (valor com impostos), com isto o retorno sobre o investimento (RSI) é inferior a 36 meses, obtido através da economia gerada pela não utilização do gás natural.

- **Premissa 02: Número de horas de operação do sistema**

O sistema foi projetado de forma a atender a operação do sistema durante aproximadamente 4.975 horas por ano.

- **Premissa 03: Capacidade Térmica do Sistema**

Sistema projetado considerando uma demanda média de energia térmica efetiva de 12.374 MWh por ano, este valor é relativo à energia térmica que a água quente deve receber (Energia Efetiva).

Como demanda térmica média o sistema deve fornecer 2.497 kW, porém para dimensionamento da capacidade nominal do sistema foi adotado o valor de 2.720 kW.

- **Premissa 04: Volume de madeira Disponível**

As embalagens utilizadas para o processo estão dispostas no pátio da central de resíduos da RdB e devem ser movimentadas, condicionadas, processadas para se tornarem combustível do sistema de geração de água quente.

Disponibilidade de sucata de madeira

O volume de sucata de madeira considerado como disponível para este projeto foi de 4.740 toneladas por ano, ou 395 toneladas por mês em média.

Para consumo na unidade geradora, foi considerado o volume médio de 951kg/h de sucata de madeira disponível, considerando as horas de produção necessárias em média para esta etapa do processo de fabricação.

- **Premissa 05: Características da sucata de madeira disponível**

A sucata de madeira disponibilizada é encontrada sob diversas formas (pallets, caixas, plataformas) com tamanhos e formatos diversos. Não há uniformidade nas dimensões destas peças. As peças são resultado da união de várias partes de madeira, esta união é feita através de pregos, parafusos, rebites, grampos e outros dispositivos metálicos que se encontram fixados nestas peças.

A Figura 26 apresenta exemplos das embalagens disponibilizadas para serem utilizadas como combustível no sistema de geração de água quente.

Figura 26: Exemplos de embalagens disponibilizadas como sucata

Fonte: O Autor

Estas embalagens apresentam uma característica de PCI (poder calorífico inferior) superior a 4000 kcal/kg, com densidade após moídas em cavaco de 400kg/m^3, umidade inferior a 10%, sem a presença de componentes químicos relevantes e geram 3% de cinzas após o processo de combustão (GARCIA, 2010).

- **Premissa 06: Sistema de processamento e preparação da biomassa**

Por se tratar de uma planta de fabricação de veículos com equipamentos e processos de fabricação sensíveis, o sistema de preparação da biomassa instalado dentro da RdB deve:

  - Apresentar nível adequado de automação de modo a não expor o operador a atividades que envolvam riscos ergonômicos e de acidentes. O sistema deve operar “sozinho” com um mínimo de intervenção do operador, e se houver necessidade estas intervenções devem ser feitas de maneira segura;

  - Apresentar baixo nível de ruído (especificar o nível de ruído e a distância);

  - Segurança na operação e manutenção do equipamento, prever atendimento às normas e legislação nacional e internacionais, além das normas internas da RdB. Deverão ser apresentados e aprovados pela RdB os seguintes documentos: laudo técnico específico de atendimento à norma NR-12, análise de risco e ART específica para este sistema/equipamento;

  - O equipamento de moagem/trituração não deverá produzir pó;

  - Prever equipamento separador de corpos estranhos (elementos metálicos).

- **Premissa 07: Condicionamento e Estocagem da Sucata de Madeira**

O projeto instalado previu a instalação de um sistema para acondicionar a sucata de madeira permitindo uma reserva de combustível entre a recepção e o aquecedor.

No silo de estocagem de combustível foi instalado um sistema de inundação para proteção e combate a incêndio (seguindo a norma NFPA).

Quanto menor o volume ou estoque de madeira, menores os investimentos necessários no Sistema de Alarme e Combate a Incêndio (SDACI), desta forma o volume de estocagem de madeira/combustível previsto foi o mínimo possível para

minimizar os riscos e os investimentos em prevenção e combate de incêndio. Por outro lado, foi considerado um volume que garanta a operacionalidade do sistema (evitando falta de combustível no aquecedor), por pelo menos 1 turno completo de operação do sistema.

- **Premissa 08: Sistema de Descarga e movimentação da sucata de madeira**

Foi considerado no projeto que a RdB possui empilhadeiras e mão de obra para a descarga das embalagens de dentro das caçambas tipo *roll on* e para a movimentação até o aquecedor. Foram previstos para o projeto o fornecimento e a instalação de sistema/equipamento para descarregar a sucata das caçambas *roll on* e movimentar o material até o sistema de processamento da sucata. A RdB possui empilhadeiras para realizar a descarga destas embalagens, e os resíduos ficam acondicionados nestas caçambas conforme pode ser observado na Figura 27.

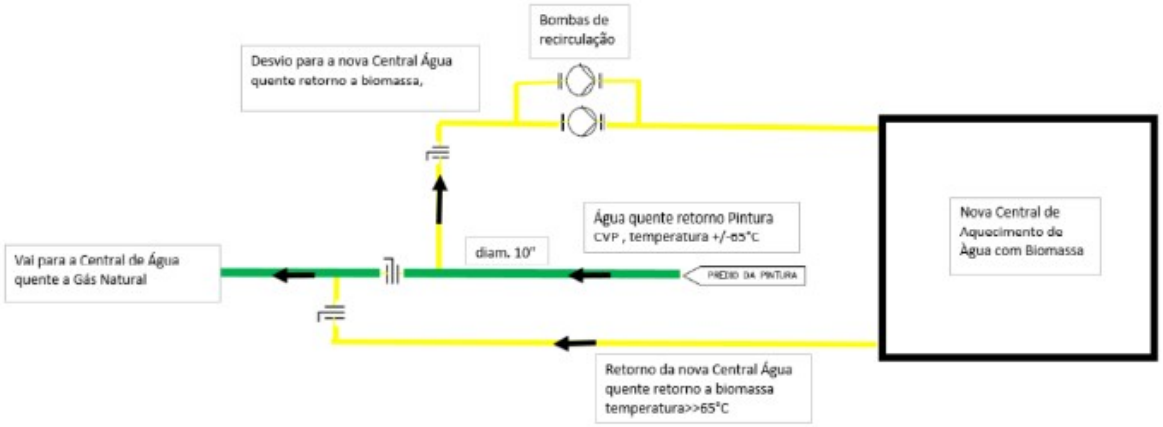
Figura 27: Acondicionamento dos Resíduos no CAS

Fonte: RdB 2018

4.3.3 Lógica de funcionamento do sistema

Para que o novo sistema opere de maneira complementar ao sistema atual havendo redundância entre os sistemas a lógica de fluxo da água quente deve operar da seguinte maneira: a água proveniente do processo de pintura circula até a nova Central de Biomassa, chegando até a nova central com temperatura em torno de +65°C (diâmetro de 10”), após passar pelo novo sistema de aquecimento onde ocorrerá um acréscimo de temperatura até em torno de +85°C, então a água será direcionada até a central existente a gás natural onde será corrigida a temperatura se esta estiver abaixo do ideal para envio ao processo de pintura, pelo sistema de aquecimento antigo. A partir daí a água segue seu fluxo antigo para o processo de pintura fechando o ciclo. A seguir (figura 28), é apresentado o fluxograma simplificado com as novas linhas de água instaladas (linha verde é existente, linhas amarelas são as novas instaladas).

Figura 28: Lógica de Funcionamento do Sistema



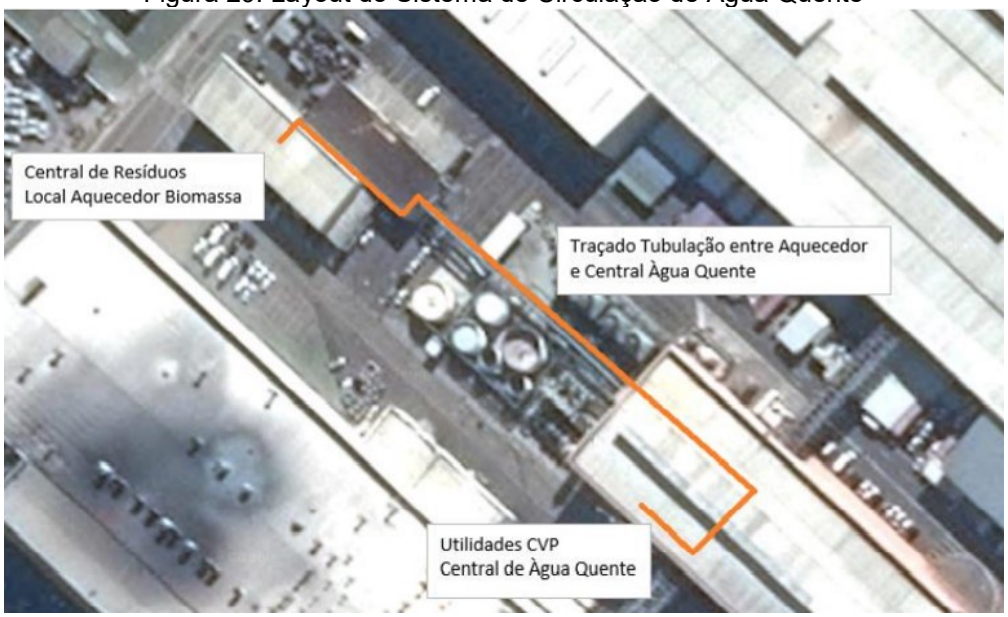
Fonte: Elaborado pelo autor

Foi instalado um sistema de medição de vazão de água que passa pelo aquecedor bem como sistema de medição do acréscimo de temperatura (delta T) que o aquecedor fornece à água que passa por ele. Estas medições são registradas em sistema próprio de forma que possa ser contabilizado o cálculo da energia produzida instantaneamente e a totalização da energia produzida horária e mensal pela nova central.

4.3.4 Disposição dos Processos

A nova central de geração de água quente a biomassa foi interligada ao sistema existente através de tubulação instalada nos “pipe-racks” e suportes existentes na área de utilidades da fábrica de veículos de passeio, a distância aproximada entre a nova central e a existente foi de 210 metros. Foram instaladas d linhas de circulação: Uma de ida com a água a ser aquecida e a outra de retorno com a água aquecida. As tubulações foram termicamente isoladas, conforme layout representado pela figura 30.

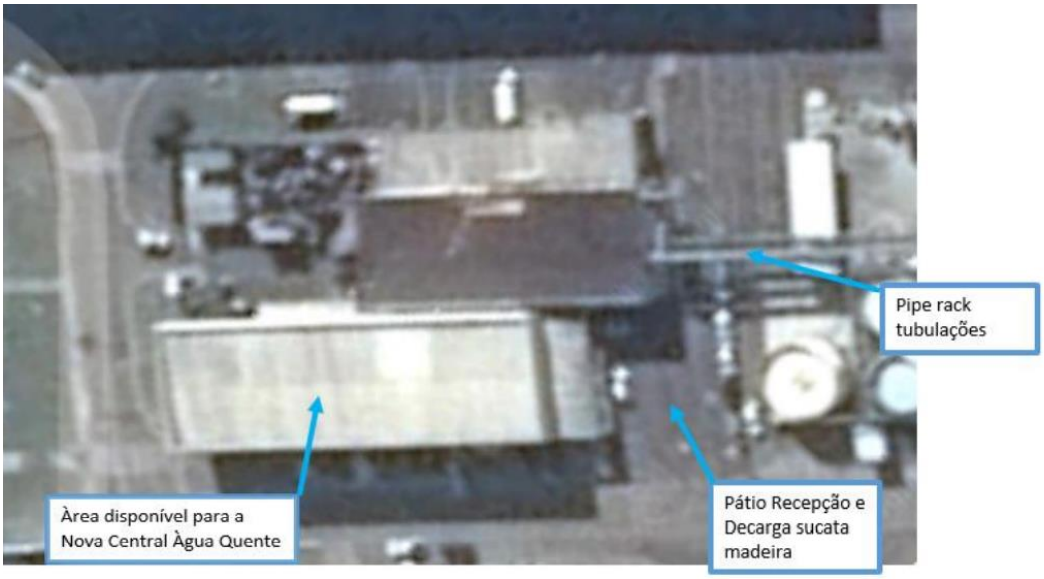
Figura 29: Layout do Sistema de Circulação de Água Quente



Fonte: O Autor utilizando imagens áreas do GOOGLE

O novo sistema gerador de água quente foi instalado no barracão da central de resíduos, mostrado na figura 31. Em uma área coberta (com cerca de 6 metros de pé direito, com iluminação, banheiros, área de café, mezanino com escritório). A área total coberta está em torno de 1.000 m^2 (com dimensões aproximadas de 16 m x 54 m).

Figura 30: Local de Instalação do Sistema no CAS

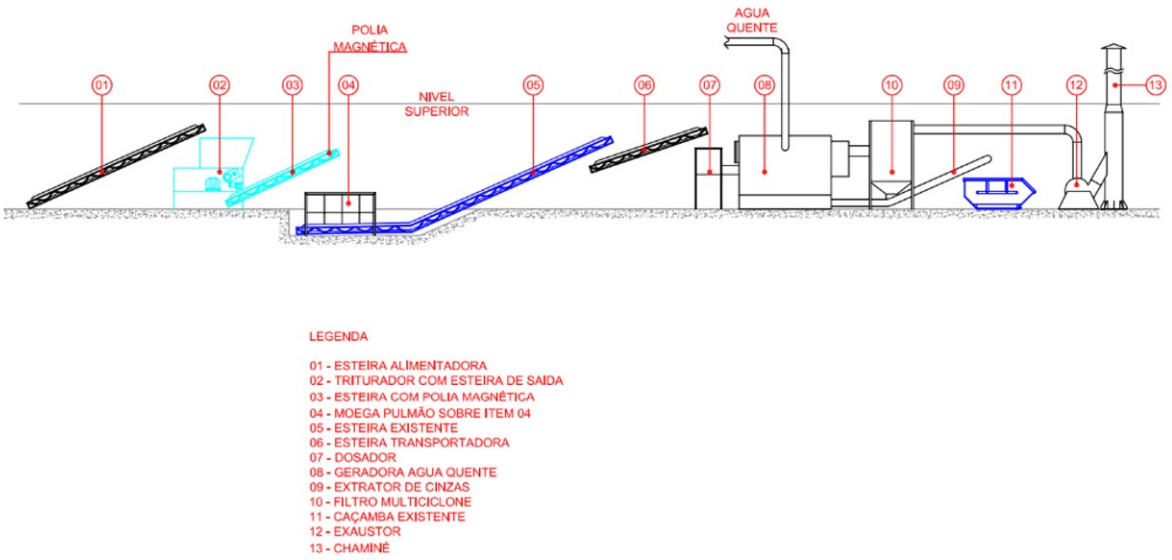


Fonte: O Autor utilizando imagens áreas do GOOGLE

4.3.5 Fluxograma do Sistema de geração de água quente por Biomassa

Com todas as premissas definidas, fluxos e funcionamento do sistema pode-se desenvolver o fluxograma completo do sistema de geração de água quente por biomassa representado pela figura 32.

Figura 31: Fluxograma do Sistema de Geração de Água Quente Projetado



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.6 Imagens do sistema instalado

Nesta seção são apresentadas algumas imagens de como ficou o sistema instalado, e que se encontra em operação.

A figura 33 mostra como ficou o sistema de bombeamento de água que leva a água a ser aquecida à central de aquecimento por biomassa.

Figura 32: Sistema de bombeamento

Fonte: O Autor

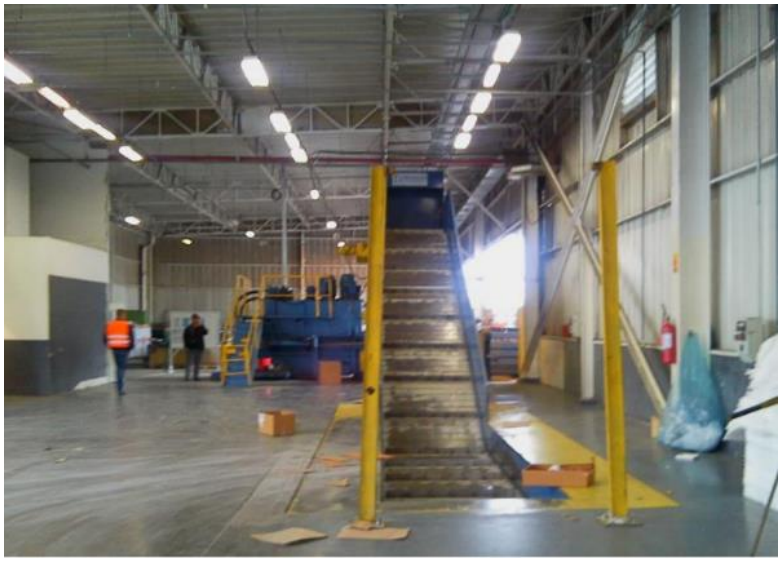
Na figura 34 tem-se a visão dos *pipe racks* com a nova tubulação de circulação de água quente que sai do sistema de bombeamento para a central de aquecimento por biomassa.

Figura 33: Sistema de *pipe racks* com a tubulação de aquecimento instalada

Fonte: O Autor

A figura 35 apresenta uma imagem da área interna do barracão onde foi instalada a nova central de aquecimento de água por biomassa desenvolvida para o projeto.

Figura 34: Área Interna utilizada para instalação do Sistema de Aquecimento por Biomassa



Fonte: O Autor

Na figura 36 tem-se a visão do local externo ao lado onde são armazenadas as embalagens e resíduos de madeira utilizados no processo.

Figura 35: Pátio de Armazenamento

Fonte: O Autor

Na figura 37, têm-se imagens da central de cavacos, com as moegas de armazenagem e estocagem, silos pulmões do processo.

Figura 36: Silo Pulmão de Cavaco

Fonte: O Autor

E na figura 38, têm-se imagens da central de aquecimento por Biomassa.

Figura 37: Central Geradora de Água Quente por Biomassa

Fonte: O Autor

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Grupo RdB possui como meta reduzir em 25% a pegada de carbono ao longo do Ciclo de Vida dos veículos produzidos no CAS até 2025. Ao final de 2019, esta meta já estava atingida em grande parte com redução de 17,4% da pegada de carbono, a maior parte deste resultado alcançado e divulgado pela empresa foi possível graças ao projeto de eficiência energética implementado e apresentado neste projeto de tese.

Por se tratar de um grande complexo industrial e por comportar na prática 4 indústrias dentro de uma única planta, o CAS pode ser considerado e administrado como um Eco-Parque-Industrial e ações e pesquisas de simbiose industrial entre as unidades fabris podem e devem ser desenvolvidas.

O trabalho desenvolvido mostra que é possível conciliar soluções de reaproveitamento de resíduos para utilizá-los como biomassa para produção de energia e a solução implementada pode ser adaptada a qualquer indústria do segmento automotivo, devido à similaridade de alguns processos industriais, com fácil adaptação. Da mesma forma esta ideia de implementação pode ser estudada e implementada em outras empresas que possuam processos de aquecimento por GN, seja com a utilização de resíduos internos, ou com o fomento de simbiose industrial, buscando utilizar resíduos de indústrias vizinhas.

Com a pesquisa desenvolvida, foi possível identificar na empresa estudada os principais resíduos gerados, assim como avaliar as práticas de sustentabilidade já adotadas pela empresa e apresentadas no item que descreve a política de meio ambiente do Grupo Renault no Brasil, sendo possível avaliar na empresa práticas de circularidade, e graças aos estudos realizados foi possível desenvolver e aplicar uma nova solução para aproveitamento dos resíduos industriais, antes descartados e agora utilizados como biomassa para produção de energia.

Os resultados obtidos encontram-se publicados no GRI 2020 (figura 39), e mostram que, com este projeto, o CAS se tornou a fábrica mais eficiente do Grupo Renault no mundo em energia kWh por veículo produzido.

Figura 38: Referência para o Grupo Renault em Consumo Energético por Veículo Produzido

Fonte: GRI 2020 - Renault

Este trabalho permite que sejam exploradas novas alternativas de tratamento de resíduos industriais, incentivando que sejam desenvolvidos projetos na área de economia circular, pois as características da planta industrial objeto desta pesquisa, em termos de dimensões e fábricas com características distintas dentro de um mesmo complexo industrial, possuem grande similaridade com parques eco industriais em que a simbiose industrial pode ser praticada, servindo de inspiração para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ABAD, V.; 2019. **Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion treatment plant: biogas production impact and economic factors.** Bioresource Technology 283, 10–17.

ALATZAS, S.; MOUSTAKAS, K.; MALAMIS, D.; VAKALIS, S. **Biomass potential from agricultural waste for energetic utilization in Greece**. Energies 12, 1905–1924. – 2019.

ANEEL – **Atlas de Energia Elétrica do Brasil – Biomassa.** Fontes Renováveis, Volume 4. Revisão 2019

Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR ISO 14040 – **Norma Brasileira –Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura**, versão corrigida, 21/07/2014.

AALL C.; HUSAB I. A. **Is Eco-efficiency a sufficient Strategy for Achieving a Sustainable Development? The Norwegian Case, Norway Western Norway Research Institute**, 2010.ADAMIDES, E. D.; MOUZAKITIS, Y. Industrial ecosystems as technological niches. Journal of Cleaner Production, 2009.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo.** Lisboa – Portugal, LDA 2010.

BAUTISTA-LAZO, S.; SHORT, T**. Introducing the all seeing eye of business: a model for understanding the nature, impact and potential uses of waste**. Journal of Cleaner Production, v. 40, p. 141-150, 2013.

BERKEL, R. V.; FUJITA, T.; HASHIMOTO, S. GENG, Y. **Industrial and urban symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town Program** 1997-2006. Journal of Environmental Management**,** 2009.

BINDER, C. **From Material flow analysis to material flow management. Part II: the role of structural agente analysis**, Journal of Cleaner Production, 2006.

BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. **Practical Hand Book of Material Flow Analysis, Taylor and Francis e-library** / Lews Publisher, 2005.

ANDALISE, R. N.; ZANCHET, A.; CRESPO, J. N.; WEBER, T. **Propriedades reométricas e mecânicas e morfologia de compósitos desenvolvidos com resíduos elastoméricos vulcanizados.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 17, n. 1, p. 23-27, 2007.

BUGNAR, N. G.; MESTER E. L. **Eco-industrial Park – A tool or sustainable development. Annals of the University of Oradea, Economic Science Series, 2013.** CHERTOW, M. (2000) Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy, Annual Review of Energy and the Environment, Vol. 25: 313-337, November 2000.

CALLE, F. R.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da Biomassa Para Produção de Energia na Indústria Brasileira**, Editora da UNICAMP, 1ª Edição, 2005.

CARVALHO, F. **Desenvolvimento de Índice de Sustentabilidade para Indústria Têxtil**, Tese Doutorado programa de Gestão Ambiental da Universidade Positivo 2015. Orientador: Prof. Paulo Janissek.

CARSTENS, L. **O Papel da Manutenção na Estratégia de Operações.** Dissertação de Mestrado, PPGEPS – PUC-PR, 2007.

CINELLI, B. A. **Produção de etanol a partir da fermentação simultânea à hidrólise de amido granular de resíduos agroindustrial.** COPPE, Rio de Janiero, 2012.

CORTEZ, L. A. B; LORA, E. L.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para Energia.** Editora Unicamp, 1ª Edição 2008.

COTÉ R.; HALL J. **Industrial Parks as Ecosystem**s. Journal of Cleaner Production Vol. 3, No. 1-2, pp. 41-46, 1995.

COUGO, LUIZ. Modelo de Avaliação de Sistema de Gestão Ambiental para Empresas Prestadoras de Serviços de Construção e Montagem do Setor de Petróleo e Gás, 2012. **Dissertação de Mestrado programa de Gestão Ambiental da Universidade Positivo.** Orientadora: Cíntia Mara Ribas de Oliveira. Co-orientador: Paulo Roberto Janissek.

DEMO, Pedro. Avaliação Qualitativa. 5 ed. Campinas: Autores Associados, 1996.

DEROJAS, A. **Energia na Biomassa**, artigo apresentado no seminário de economia circular e sustentabilidade na gestão de RSU, Rio de Janeiro, 2016.

DIAS, V. M. **Avaliação da gestão de resíduos eletrônicos,** Tese do programa de doutorado em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, 2017. Orientador: Prof. Mauricio Dziedzic

FISCHER-KOWALSKI, M., 1997. **Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star**. Redclift, M., Woodgate. G., The International Handbook of Environmental Sociology. Edward Elgar, Cheltenham, In. pp. 119–37.

FILIMONAU, V.; DICKINSON, J.; ROBBINS, D.; HUIJBREGTS, M. A. J. **Reviewing the carbon footprint analysis of hotels: Life Cycle Energy Analysis (LCEA) as a holistic method for carbon impact appraisal of touristic accommodation**. Journal of Cleaner Production, 2011.

FLEIG, Anja-Katrin. **A Strategy towards Industrial Ecology in Developing and Newly Industrialised Countries: Pilot Project Strengthening Environmental Capability in Developing Countries (ETC). ECO-Industrial Parks** Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, 2000. 48p.

GARCIA, D. P. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil.** Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 2010.

GODOY, Arilda S. Pesquisa Qualitativa: tipos fundamentais. **ERA- Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, vol 35 nº 3 , p 20-29. 1995.

GOLDEMBERG, J. **Biomassa e Energia,** Química Nova Vol 32, n3 Universidade de São Paulo, SP, Brasil, 2009.

GIBS, D.; DEUTZ, P. **Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development.** Journal of Cleaner Production, 2007.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 1996.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Editora Atlas, 1999.

GIODA, A. **Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global.** Química Nova, Vol 41. N. 8, 2018.

GODOY, A. S. **Introdução a pesquisa qualitativa e suas possibilidade**s. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v. 35, n. 2, Mar./Abr. 1995B, p. 57-63

GREENROOFS.COM. **Green Roofs and Regenerative Design**. Alpharetta: 2019. Disponível em: https:// www.greenroofs.com/2018/11/01/green-roofs-and-regenerative-design/

GRIMES-CASEY H. G.; SEAGER T. P.; THEIS T. L.; POWERS S. E. **A game theory framework for cooperative management of refillable and disposable bottle lifecycles**, Journal of Cleaner Production, 2007.

HAMMERSCHMIDT, R. **Economia Circular – Um novo paradigma para a indústria,** Indústria em Revista, publicação do sistema FIEP, pág 18, 2020.

HALICK, Z. **Práticas inovadoras para a transição sociotécnica em energias renováveis a partir da biomassa animal: Um estudo em propriedades rurais no interior do Paraná,** Tese de doutorado em administração da Universidade Positivo, 2018, orientadora professora Zieglind Kindl da Cunha.

HASKINS, C. **A Systems Engineering Framework for Eco-Industrial Park Formation.** Wiley InterScience, 2006.

ISIKGOR, F.H.; BECER, C.R. **Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers**. Polym. Chem. 6, 4497–4559 – 2015.

JAVIER, F. E. **Aproveitamento dos resíduos sólidos vegetais para geração de energia. Oportunidades e Desafios.** Universidade de São Paulo – USP – Instituto de Energia e Ambiente – IEE – Gbio, 2015.

JELINSKI L.W.; GRAEDEL, T. E.; LAUDISE, R. A.; MCCALL, D. W. **Industrial ecology: concepts and approaches, Proceedings of the Natural Academy of Sciences of the United States of America** pp.89, 793, 1992.

JENSEN, A. A.; HOFFMAN, L.; MULLER, B. T.; SCHIMIDT, A. **Life Cycle Assessment (LCA) A guide to approaches, experiences and information sources**, Environmental Issues Series – European Environment Agency, 1997.

JIN CHO, E.; TRINH, T. L.; SONG, Y.; LEE. Y. G.; BAE, H. J. **Bioconversion of biomass waste into high value chemicals.** Bioresource Technology – ELSEVIER, 2019.

KARP, S.G., IGASHIYAMA A.H., SIQUEIRA, P.F., CARVALHO. J.C., VANDERBERGHE, L.P.S., THOMAZ-SOCCOL, V., CORALI, J., THOLOZAN, J.L.,

KNIESS, C. T.; BARBIERI, J. C.; TEIXEIRA, C. E.; SANTOS, M. R. **O uso da avaliação do ciclo de vida e da ecoeficência para avaliar alternativas de valorização de resíduos: Um estudo em empresa termelétrica**, Revista ADM. UFSM, Santa Maria, V. 9 Ed. Especial Engema, 2016.

KERLINGER, Fred Nichols, **Metodologia da Pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual,** Tradução Helena Mendes Rotundo; revisão técnica José Roberto Malufe. EPU. São Paulo, p. 321, 1980.

KORHONEN, J. **Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology.** Finland, Journal of Cleaner Production, p. 809-823, 2004.

KOUTINAS, A.A.; VLYSIDIS, A.; PLEISSNER, D.; KOPSAHELIS, N., GARCIA, I.L., KOOKOS, I.K., PAPANIKOLAOUS, S., KWAN, T.H., LIN, C.S. **Valorization of industrial waste and by-product streams via fermentation for the production of chemicals and biopolymers**. Chem. Soc. Rev. 43, 2587–2627 – 2014.

LACY, P.; RUTQVIST, J. **Waste to Wealth – The Circular Economy Advantage**, Accenture strategy – Palgrave Macmillan in the US is a division of St Martin's Press LLC, 175 Fifth Avenue, New York, NY 10010, 2015.

LEEUWEN, M. G.; VERMEULEN, W. J. V.; GLASBERGEN, P. **Planning Eco-Industrial Parks: An Analysis of Dutch Planning Methods.** Business Strategy and Environmental, 2003.

LI, C.; SUZUKI, C.; **Process design and simulation of H2-rich gases production from biomasspyrolysis process.** Bioresource Technology, EcoTopia Science Institute, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan Elsevier, 2009.

LIEDER, M.; RASHID, A**. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry**, Sweden, Journal of Cleaner Production, p. 36-51, 2015.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustiveis,** Editora Interciências, Volume 1 - 2012.

LOWE, E. A. Introduction to Eco-Industrial Parks. **Eco industrial Park Handbook for Asian Developing Countries**. 2001 ed. Oakland: Indigo Development, 2001. 12p.

LIHONG, W.; HUI, Z. Development of circular economy and optimization of industrial structure for Shandong Province. **College of Population, Resources and Environment Shandong Normal University,** Jinan˙Shandong, China, Elsevier, 2010.

CLETO, L.T. **Ar-Condicionado, Guia Prático Sobre Sistemas de Água Gelada,** Publicação do Ministério do Meio Ambiente para o Programa Brasileiro de Eliminação dos HCFCs, projeto para o gerenciamento de chillers, Brasília, 2017.

MENTINK, B. **Circular Business Model Innovation. A process framework and a tool for business model innovation in a circular economy**, For the degree of Master of Science in Industrial Ecology at Delft University of Technology & Leiden University Date of submission: April 29, 2014.

MURALIKRISHNA, I. V.; MANICKAN, V.; **Environmental management,** chapter one introduction. Sci Eng. Ind 1-4 2017.

PANDEY, A., SOCCOL, C.R., 2011. Application of the biorefinery concept to produce L-lactic acid from the soybean vinasse at laboratory and pilot scale. Bioresource Technology 102, 1765-1772.

PANEPINTO, D.; TEDESCO, V.; BRIZIO, E.; GENON, G. **Environmental Performances and Energy Efficiency for MSW Gasification Treatment.** Waste Biomass Valor 6:123–135 – 2015

PARRA FILHO, D.; SANTOS, J. A. **Metodologia Cientifica,** 2ª Edição, editora CENGAGE, 2012.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**

REIS, E. A. dos. **Fluxo e Tecnologias de Informação no Contexto Brasileiro de Inventário de Ciclo de Vida.** 2015. 107f. TESE (Doutorado em Ciência da Informação) – Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Marília, 2015.

RENAULT DO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2019 – GRI**. http://www.imprensa.renault.com.br/pagina/busca_categoria/fabricas/pt Acesso: 15.11.2020.

ROCIO, H, B**. Ecoeficiência uma gestion empresarial ambiental Ambiente y Energia.** Ciências Econômicas, Vol 27 p. 189, Spanish, Jan-Jun, 2009.

RODRIGUES, F. T. R. L.; SILVA, R. R. **Análise do ciclo de vida e da logística reversa como ferramentas de gestão sustentável: O caso das embalagens PET.** Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial, 2015.

SANTOLIN, R. B.; CATEN, C. S. **Modelos de distritos industriais sob a ótica da sustentabilidade: Uma revisão bibliográfica.** Iberoamarican Journal of Industrial Engineering - 2015.

SAKR, D.; BASS, L.; EL-HAGGAR, S.; HUISINGH, D. **Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: global trends and Egyptian context.** Journal of Cleaner Production, 2011.

SALMI, O. **Eco-efficiency and industrial symbiosis – a counterfactual analysis of a mining community.** Journal of Cleaner Production, p. 1969-1705, October 2016.

SANTOS, M. R.; TEIXEIRA, C. E.; KNIESS, C. T.; BARBIERI, J. C. **O uso da avaliação do ciclo de vida e da ecoeficiência para avaliar alternativas de valorização de resíduos: Um estudo em empresa termelétrica.** Revista

Administração da Universidade Federal de Santa Maria, Edição Especial Engema, p. 82,89, 2016.

SCOTT, J. A.; NARAYANASWAMY, V.; NESS, J.N.; LOCHHEAD, M. **Resource flow and Product chain analysis as practical tools to promote cleaner production initiatives.** Journal of Cleaner Production, 2003.

SENDRA, C.; GABARELL, X.; VICENT, T. **Material flow analysis adapted to an industrial area.** Journal of Cleaner Production**,** October, 2006.

SOLARTE-TORO, J.C. **Evaluation of biogas and syngas as energy vectors for heat and power generation using lignocellulosic biomass as raw material.** Electron. J. Biotechnol. 33, 52–62. S, 2018.

SHERWOOD, J. **The significance of biomass in a circular economy.** Bioresource Technology, ELSEVIR, 2020.

STHAHEL, W. R. **Circular Economy. A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs.** NATURE – VOL 531 –p. 435 – 438, 24.

TURNER, D. A.; WILLIANS, I. D.; KEMP, S. **Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making.** Journal of Cleaner Production, 2016.

UNEP. **Towards sustainable production and use of ressources**. Assessing Biofuels, United Nations Environment Programme. 2009. 120 p.

VISSUMA, B. G. **Estratégias e políticas de conversão da zona econômica especial Luanda-Bengo, Viana Km 27, Luanda, Angola em Parque Industrial Ecológico.** Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental da Universidade Positivo, 2013.

WALLE, F. B.; VERMEULEN, W. J. V.; HEERES, R. R. **Eco-Industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: First Lessons.** Journal of Cleaner Production, 2004.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais**. Revista Produção, V. 23, n. 2, p. 436-447, abr-jun 2013.

YIN, R. K**. Estudo de caso: planejamento e métodos.** 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZHAO, HAORAN; ZHAO, HUIRU; GUO, ZEN. **Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy.** Journal of Cleaner Production, 2016.

ZHANG, Y.; ZHENG, H.; FATH, B. D. **Ecological network analysis of an industrial symbiosis system: A case study of the Shandong Lubei eco-industrial park**. Ecological Modelling – Elsevier – 2014.

Relatório elaborado pela fundação, ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, **Delivering the Circular Economy. A Toolkit for Policymakers,** 2015.

Relatório de Energia do Banco Mundial 2019 – **The Energy Progress Report 2019**. Disponível em: https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2019 Acesso em: 06/10/2020.

Relatório agência norte americana de informações energéticas – **Annual Energy Outlook 2015 – with projections to 2040**. Disponível em: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2015).pdf. Acesso em: 06/10/2020.

Relatório da Sociedade Brasileira de Pesquisa Energética – SBPE – **Revolução Energética 2050.** Disponível em: https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/333. Acesso: 06/10/2020

Relatório da Empresa Brasileira de Pesquisa Energética – EPE – **Matriz Energética e Elétrica 2020.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso 11/10/2020.

Livro publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Energética – EPE – **Plano Nacional de Energia 2030 – Geração Termelétrica – Biomassa.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030. Acesso 13/02/2021.

Relatório World Wild Fund (WWF) – **Acesso à energia com fontes renováveis em regiões remotas no Brasil.** Disponível em: https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/21abr20_avaliacao_de_impactos_pt_1.pdf. Acesso 11/10/2020

Relatório do Ministério da Cidadania, reproduzido através de Artigo pelo Blog WEG, **Energia Renovável: Como é produzida a energia a partir de biomassa,** Disponível em: https://museuweg.net/blog/tag/fontes-de-biomassa/#:~:text=fontes%20de%20energia%2C-,Biomassa%20%C3%A9%20toda%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%2C%20de%20origem%20vegetal%20ou%20animal,excrementos%20e%20at%C3%A9%20do%20lixo. Material produzido em 24 de novembro de 2019. Acesso em 11/10/2020.

Relatório Portal Energia, REIS, P. **Biocombustiveis, vantagens e desvatangens.** https://www.portal-energia.com/biocombustiveis-vantagens-e-desvantagens/ 31.01.2019. Acesso em 11/10/2020.

Terra Green: Global **Waste-Solvable Problem as a Renewable Energy Resource.** https://medium.com/@support_61820/global-waste-solvable-problem-as-a-renewable-energy-resource-5d8f05cc1a7d 20.02.2019. Acesso em 16/10/20.

Relatório GRI , **Relatório de Sustentabilidade Grupo Renault, 2018**. Disponível em: https://institutorenault.com.br/transparencia/relatorio . Acesso em: 10/10/2020.

Relatório GRI , **Relatório de Sustentabilidade Grupo Renault, 2019**. Disponível em: https://institutorenault.com.br/transparencia/relatorio . Acesso em: 13/02/2021.