



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANA LUIZA DA SILVA REZENDE GUANAIS**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E DAS EMISSÕES DE GASES DE  
EFEITO ESTUFA DO SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO  
DE ÁGUA DE FEIRA DE SANTANA**

Feira de Santana – Bahia

2015

ANA LUIZA DA SILVA REZENDE GUANAIS

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E DAS EMISSÕES DE GASES DE  
EFEITO ESTUFA DO SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO  
DE ÁGUA DE FEIRA DE SANTANA**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana- Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil e Saneamento Ambiental.**

**Orientador: Dr. Eduardo Borges Cohim Silva**

Feira de Santana, abril de 2015

### **Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado**

Guanais, Ana Luiza da Silva Rezende  
G946a Avaliação energética e das emissões de gases de efeito estufa do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana / Ana Luiza da Silva Rezende Guanais. – Feira de Santana, 2015.  
95 f. : il.  
Orientador: Eduardo Borges Cohim Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2015.

1. Sistema de Abastecimento de Água – Feira de Santana. 2. Sistema de Abastecimento de Água – Consumo energético. 3. Emissão de gases – Efeito estufa. I. Silva, Eduardo Borges Cohim, orient. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDU: 628.1

ANA LUIZA DA SILVA REZENDE GUANAIS

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E DAS EMISSÕES DE GASES DE  
EFEITO ESTUFA DO SISTEMA INTEGRADO DE ABASTECIMENTO  
DE ÁGUA DE FEIRA DE SANTANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana- Bahia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental.

---

**Prof. Dr. Eduardo Borges Cohim Silva**

---

**Prof. Dr. Roque Angélico Araújo**

---

**Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues**

Resultado: \_\_\_\_\_

Feira de Santana, abril de 2015

À minha mãe...

## AGRADECIMENTOS

A Deus, o que seria de mim sem a fé que eu tenho nele.

A minha família, em especial meus pais e meu irmão, grandes incentivadores dos meus estudos, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao meu esposo, Thiago, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades. A sua paciência nos momentos de ausência.

Ao meu filho, Thiago Filho, que embora não tivesse conhecimento, mas iluminou de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos, tornando os meus dias mais leves e alegres.

Ao meu sogro e sogra pelo carinho e apoio.

Á Inês pela energia positiva e por ter se dedicado ao meu filho nos momentos de ausência

Ao professor, Eduardo Cohim, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta tese. E, principalmente, pelas contribuições e ensinamentos na área de saneamento.

A todos os professores do PPGECEA pelo compromisso e aprendizado proporcionados.

Aos funcionários do PPGECEA, Katia, Mariana e Welber, que sempre me acolheram com uma palavra de carinho, incentivo e apoio.

A EMBASA pela oportunidade de realizar esta pesquisa no SIAA-FSA e aos funcionários que muito colaboraram, com paciência, apoio e disponibilidade para a coleta de dados.

Ao grupo de pesquisa ACV- UFBA pelos conhecimentos compartilhados.

A CAPES pelo apoio financeiro, permitindo dedicar-me integralmente ao desenvolvimento desta pesquisa.

*“As explicações são reformulações da experiência aceitas por um observador. (...) A ciência não tem a ver com a predição, com o futuro, com fazer coisas, mas sim com o explicar. Os cientistas são pessoas que têm prazer em explicar”*  
*(Humberto Maturana)*

## RESUMO

Considerando a importância do setor de saneamento para o desenvolvimento de um país e os encargos energéticos e os potenciais impactos ambientais associados a ele, o presente trabalho propõe a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), para o cálculo da intensidade energética e a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Sistema de Abastecimento de Água de Feira de Santana (SIAA-FSA). Foram identificadas na cadeia produtiva as etapas no sistema com maiores encargos energéticos e propostos Cenários de melhoria. A cadeia de produção dos insumos químicos, transporte dos insumos, energia elétrica e substituição dos tubos na rede para a manutenção do sistema foram consideradas. A intensidade energética – IE total do sistema foi  $3,51 \text{ kWh/m}^3$  de água consumida. A etapa de captação e distribuição de água foram as mais relevantes na IE, pois o consumo de energia elétrica do bombeamento representou 86% da IE. Para a categoria de impacto escolhida no método IPCC (2007) 100 anos as emissões de GEE do SIAA-FSA foram de  $0,47 \text{ KgCO}_2\text{eq/m}^3$  de água efetivamente consumida, 75% decorrente do uso de energia elétrica. Os Cenários alternativos avaliados demonstraram melhorias significativas em relação ao Cenário atual, com usos mais racionais dos insumos água, eletricidade e produtos químicos.

**Palavras chave:** Sistemas de abastecimento de água; ACV; Emissão de Gases de Efeito Estufa.

## ABSTRACT

Considering the importance of the sanitation sector for the development of a country and energy costs and the potential environmental impacts associated with it, this paper proposes the application of Life Cycle Assessment (LCA) to calculate the energy intensity and greenhouse gas (GHG) Water Supply System of Feira de Santana (SIAA-FSA). They were identified in the supply chain system steps with higher energy costs and proposed improvement scenarios. The production chain of chemical inputs, transportation of supplies, electricity and replacement of pipes in the network to maintain the system were considered. Energy intensity - IE the total system was 3.51 kWh/m<sup>3</sup> of water consumed. The step of capturing and distributing water were the most important in IE, because the consumption of electric pumping energy represented 86% of IE. For the impact category chosen in the IPCC method (2007) 100 years, GHG emissions from the SIAA-FSA were 0.47 KgCO<sub>2</sub>eq / m<sup>3</sup>de water actually consumed, 75% resulting from the use of electricity. Alternative scenarios evaluated showed significant improvements over the current setting and more rational use of inputs water, electricity and chemicals.

**Keywords:** water supply systems; LCA; Energy Demand; Greenhouse Gases.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Matriz elétrica brasileira 2012	30
<b>Figura 2:</b> Fases de um estudo de ACV	34
<b>Figura 3:</b> Elementos da fase AICV	37
<b>Figura 4:</b> Conceito de indicadores de categorias	38
<b>Figura 5:</b> Relações entre os resultados do ICV e as categorias de impacto de <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i>	39
<b>Figura 6:</b> Níveis para análises energéticas.	43
<b>Figura 7:</b> As emissões de gases efeito estufa no setor de água e esgoto na Escócia	51
<b>Figura 8:</b> Croqui do SIAA-FSA	55
<b>Figura 9:</b> Fluxograma da fronteira do SAA estudado	58
<b>Figura 10:</b> Demanda de energia acumulada das etapas do ciclo de vida da água consumida do SIAA – FSA	69
<b>Figura 11:</b> Intensidade Energética (kWh/m <sup>3</sup> ) dos produtos químicos na etapa de tratamento do SIAA-FSA.	70
<b>Figura 12:</b> Emissões de GEE do ciclo de vida da água consumida do SIAA-FSA.	71
<b>Figura 13:</b> Gráfico comparativo dos Cenários propostos para o SIAA-FSA.	72

## QUADROS

<b>Quadro 1-</b> Resumos de artigos publicados aplicando ACV no setor de água e esgoto.	48
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados dos conjuntos motor/bomba da estação elevatória de água bruta	84
Tabela 2: Dados do conjunto motor/bomba da Estação Elevatória de Água Tratada I	84
Tabela 3: Dados do conjunto motor/bomba da Estação Elevatória de Água Tratada II	84
Tabela 4: Volume de água m <sup>3</sup> no ano 2013	85
Tabela 5: Consumo de produtos químicos em Kg no ano 2013	85
Tabela 6: Dados dos locais de fabricação dos produtos químicos utilizados no tratamento de água do sistema estudado	60
Tabela 7: Consumo de energia elétrica das Unidades Setoriais do SIAA-FSA.	86
Tabela 8: Rendimento do conjunto motor/bomba EEAT	62
Tabela 9: Consumo de energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento	62
Tabela 10: Consumo de energia elétrica da etapa de distribuição	62
Tabela 11: Consumo de energia elétrica do SIAA-FSA	62
Tabela 12: Dados da energia embutida e emissão de CO <sub>2</sub> eq dos insumos	63
Tabela 13: Cálculo do ICV do transporte dos produtos químicos	63
Tabela 14: Cálculo da massa de tubos substituídos	64
Tabela 15: Análise de Inventário dos Insumos do SIAA-FSA	64
Tabela 16: Resultado da Energia do Ciclo de Vida para 1 m <sup>3</sup> de água entregue na porta do consumidor/ano	66
Tabela 17: Comparação dos resultados da energia incorporada (kWh/m <sup>3</sup> ) no presente estudo e em outros estudos no setor de água baseado na ACV	68
Tabela 18: Volume de água e consumo de energia dos Cenários sugeridos	73
Tabela 19: Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 2	87
Tabela 20: Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento do Cenário 2	87
Tabela 21: Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 2	87
Tabela 22: Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 2.	87
Tabela 23: Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 3	88
Tabela 24: Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento Cenário 3	88
Tabela 25: Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 3	88

Tabela 26: Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 3.	88
Tabela 27: Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 4:	88
Tabela 28: Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento Cenário 4.	89
Tabela 29: Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 4.	89
Tabela 30: Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 4.	89
Tabela 31: Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 3.1:	89
Tabela 32: Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento Cenário 3.1.	89
Tabela 33: Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 3.1.	89
Tabela 34: Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 3.1.	90
Tabela 35: Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 4.1	90
Tabela 36: Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento do Cenário 4.1.	90
Tabela 37: Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 4.1.	90
Tabela 38: Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 4.1.	90
Tabela 39: ICV do Cenário 2	91
Tabela 40: ICV do Cenário 3	91
Tabela 41: ICV do Cenário 4	92
Tabela 42: ICV do Cenário 3.1	93
Tabela 43: ICV do Cenário 4.1	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES –	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV –	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV –	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
BA –	Bahia
CETEA –	Centro de Tecnologia de Embalagens
CML –	Center for Environmental Science of Leiden University
CO <sub>2</sub> –	Dióxido de carbono
CO <sub>2</sub> eq –	Dióxido de carbono equivalente
DEFRA –	Department for Environment, Food and Rural Affairs.
EDIP –	Danish Life Cycle Assessment methodology
EEA –	Agência Europeia do Ambiente
EEAB –	Estação Elevatória de Água Bruta
EEAT –	Estação Elevatória de Água Tratada
EMBASA -	Empresa Baiana de Águas e Saneamento S/A
EPS –	Environmental Priority Strategies in product design
ETA's –	Estações de Tratamento de Água
ETE –	Estação de Tratamento de Esgoto
GEE –	Gases de Efeito Estufa
Gg –	Giga gramas
Gt –	Giga toneladas
GWh –	Giga Watt-hora
GWP –	Global Warming Potential
IBGE –	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBNET –	International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities
ICV -	Inventário do Ciclo de Vida
ISO -	International Organization for Standardization
L –	Litro
L/hab.dia –	Litro por habitante dia
LCA –	Life Cycle Assessment
MCTI –	Ministério de Ciências, Tecnologia e Inovação.
M3 –	Metro cúbico
MJ –	Mega joule
MtCO <sub>2</sub> eq –	Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
MWh –	Megawatt-hora
NBR –	Norma Brasileira
ONU –	Organização das Nações Unidas
PMSS –	Programa de Modernização do Setor de Saneamento
PNMC –	Plano Nacional de Mudança Climática
PNUD –	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA –	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROSAB -	Programa Nacional de Pesquisa em Saneamento Básico
RECIPE –	Method was created by RIVM, CML, Pré Consultants,
SETAC -	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SIAA-FSA –	Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana
SNIS –	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
TON -	Toneladas
TON.Km –	Tonelada por quilômetro
TCEq –	Toneladas de Carbono equivalente
UF –	Unidade funcional
UNEP –	United Nations Environment Program
USEPA –	United States Environmental Protection Agency
WBCSD –	Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável
WD –	Working draft

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
Objetivo geral: .....	22
Objetivos específicos:.....	22
<b>CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
1.1 Modelo do setor de água atual.....	23
1.1.1 Aumento do consumo de água .....	23
1.1.2 Perdas no Sistema de Abastecimento .....	25
1.1.3 Consumo Energético .....	27
1.2 Impactos associados aos sistemas de abastecimento de água.....	30
1.2.1 Degradação e escassez da água .....	30
1.2.2 Energia e as mudanças climáticas .....	31
1.2.2.1 Iniciativas de redução de emissão de GEE.....	37
1.3 Avaliação do Ciclo de Vida.....	39
1.3.1 Conceito .....	39
1.3.2 Metodologia ACV .....	40
1.3.2.1 Definição de objetivo e Escopo .....	40
1.3.2.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida - ICV .....	41
1.3.2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida - AICV.....	42
1.3.2.3.1 Método de Avaliação de Impacto e Categorias de Impactos.....	44
1.3.2.4 Interpretação .....	47
1.3.3 Críticas e limitações do uso da ACV.....	49

1.4 Avaliação do Ciclo de Vida Energético- ACVE .....	50
1.4.1 Histórico .....	50
1.4.2 Metodologia ACVE.....	50
1.5 Aplicações ACV no setor da água.....	53
1.5.1 Resultados obtidos em ACV e ACVE no Setor de Água e Esgoto .....	55
<b>CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA.....</b>	<b>65</b>
2.1 Descrição do sistema e Cenários propostos.....	65
2.2 Estrutura metodológica da ACVE .....	67
2.2.1 Objetivo da ACV .....	69
2.2.2 Escopo da ACV .....	69
2.2.2.1 Sistema estudado .....	69
2.2.2.2 Unidade funcional.....	69
2.2.2.3 Fronteira do sistema.....	69
2.2.3 Metodologia da Avaliação do Impacto Ciclo de Vida (AICV) .....	70
2.2.3.1 Tipo e fontes de dados .....	71
2.2.3.2 Qualidade dos dados .....	72
2.2.4 Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	73
<b>CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>81</b>
3.1 Resultados dos Requisitos Totais de Energia ou Intensidade Energética .....	82
3.2 Resultados das Emissões de Gases de Efeito Estufa .....	87
3.3 Avaliação dos Cenários .....	88
<b>CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>102</b>



## INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos hídricos, vitais tanto à sobrevivência humana quanto aos ecossistemas que subsistem simultaneamente, bem como a garantia de sua disponibilidade futura, é uma preocupação global constante e crescente. Isto porque, a escassez da água aumenta sensivelmente em decorrência de diversos fatores como: variações climáticas, diferentes atividades humanas e, especialmente, o crescimento econômico<sup>1</sup>. Estima-se que, em 2025, quase um terço da população mundial sofra de uma situação de estresse hídrico, além disso, está prevista uma variabilidade de precipitações com aumento no número de inundações e episódios de secas causadas por mudanças climáticas<sup>2</sup>.

Em muitos países, esforços, no sentido de satisfazer a crescente demanda urbana por saneamento, estão sendo empreendidos por diversos setores de distribuição de água urbana. Os sistemas de saneamento atuais se deparam com grandes entraves que colocam ainda mais em evidência o uso da água enquanto recurso finitamente disponível, o sustento dos ecossistemas e o conseqüente bem estar humano em situação de risco. Portanto, a análise destes problemas possibilita uma visão crítica, a busca por novas formas de sanear e soluções que preservem os benefícios gerados pelo setor, mas preze pela preservação dos recursos naturais.

A economia de energia é crucial para preservação dos recursos hídricos e cumprimento das metas da Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, neste sentido o país busca implementar, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36% e 38% suas emissões projetadas até 2020 (BRASIL, 2009).

Em 2012, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 429 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente<sup>3</sup>, sendo a maior parte

---

<sup>1</sup> EEA, 2012 – PNUMA e IWMI.

<sup>2</sup> 2011 RELATÓRIO DO IPCC/ONU, 2007

<sup>3</sup> MtCO<sub>2</sub>eq

49% oriunda do setor de transportes, 21% das indústrias, 5% das residências e 26% dos setores restantes, incluindo o agropecuário, serviços, energético e elétrico (BRASIL, 2013).

As iniciativas de redução de GEE estão concentradas principalmente nos setores energético e industrial, pois tem potencial de redução de 12 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq anual em 2030, 31,5% do potencial total.

Algumas deficiências do setor da água como as perdas e/ou ineficiências no sistema além de contribuir significativamente para o alto consumo de energia, aumentam, conseqüentemente, as emissões de gases de efeito estufa resultantes da geração de energia.

Inclusive, vale ressaltar que, a energia consumida para distribuir a água potável corresponde a cerca de 7% do total do consumo mundial. Isto sem incluir a energia dispendida no tratamento das águas residuais, que, ao ser agregada a este percentual se torna um valor muito mais significativo (TRIPATHI, 2007).

Para se ter uma ideia, cerca de 3% do consumo nacional de eletricidade é destinado ao setor de abastecimento de água e tratamento de esgotos e, desse total, mais de 90% da energia destina-se ao uso de motores e bombas (PROSAB, 2009). Além disso, no Brasil o consumo de eletricidade, em 2012, foi de aproximadamente 463 mil GWh, sendo que, deste valor 2% da eletricidade anual foi utilizada para o setor de água (BRASIL, 2013).

Diante da crescente demanda por água e energia, se torna cada vez mais prioritária a utilização racional e eficiente destes recursos energéticos existentes. Neste sentido, análises do consumo, em todas as fases dos sistemas de água e esgoto, são vitais para a identificação e mitigação das ineficiências no setor, bem como, conseqüentemente, indispensável para a redução do consumo de energia. Assim, a busca por conhecimentos e ações que garantam a sustentabilidade dos recursos hídricos, a partir de práticas industriais e critérios que levem à escolha do processo ideal, mais que preocupação global são medidas urgentes (ROTHAUSEN e CONWAY, 2011). Especialmente porque, a despeito da situação preocupante, ainda são poucas as indústrias e empresas que dão atenção devida à forma como suas ações interferem no meio ambiente e, conseqüentemente, aos impactos gerados.

Neste sentido, indicadores ambientais têm sido desenvolvidos, de acordo com as ideias e estratégias, como ferramentas de medida que permitam expressar os resultados relativos ao desempenho ambiental, buscando melhorar os índices do setor industrial como um todo, bem como de empresas individuais. Tais indicadores têm possibilitado referenciar os processos existentes e propor as soluções mais sustentáveis e adequadas em um determinado contexto.

Assim, a Avaliação do Ciclo de Vida - ACV proporciona uma visão holística dos aspectos ambientais, bem como, dos potenciais impactos associados a um serviço ou produto, tornando-se possível a análise da cadeia produtiva, o que indica melhores possibilidades de escolhas das matérias-primas e fontes energéticas que levem a uma minimização de emissões e resíduos gerados. Associada a um sistema de tratamento de água, a ACV gera informações que auxiliam na identificação dos pontos fracos dos processos de produção de água potável, propondo Cenários de melhorias para redução do consumo de energia pelos tomadores de decisão.

Neste contexto, a prestação de um fornecimento contínuo de água potável e saneamento para o público é particularmente desafiador para os sistemas urbanos de água, exigindo uma gestão sustentável deste recurso diante da necessidade de se adaptar às variações climáticas. Ao mesmo tempo, o esgotamento gradual dos combustíveis não renováveis e as consequências relacionadas às variações climáticas devem levar às mudanças fundamentais no fornecimento e utilização de energia.

Assim, com fins de ampliar o entendimento e proporcionar subsídios científicos da utilização da ACV, a partir da análise dos resultados da Intensidade Energética e das emissões de CO<sub>2</sub>eq associados ao Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana – SIAA-FSA, é que este estudo se propõe buscar respostas às questões relacionadas ao nível de consumo energético e parcela de emissão de carbono.

Para melhor entendimento, este estudo foi distribuído em capítulos descritos a seguir: o capítulo 1 apresenta o referencial teórico que traz os conceitos principais aplicados à temática em questão, ao mesmo tempo em que permite a integração multifacetada entre os diferentes sistemas de planejamento e gerenciamento do estudo e atividade ambiental.

No capítulo 2, referente à metodologia aplicada no estudo, são informadas as considerações feitas durante a execução do trabalho e o detalhamento do Inventário do Ciclo de Vida realizada para a obtenção dos resultados que são apresentados no capítulo 3. Neste capítulo são mostrados os resultados obtidos durante a coleta de dados, entre os quais a avaliação da demanda energética, emissões de gases de efeito estufa e avaliados Cenários.

Finalmente do capítulo 4 são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões de estudos futuros.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral:**

O objetivo deste estudo foi quantificar a intensidade energética e as emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida do SIAA-FSA.

### **Objetivos específicos:**

- Realizar um levantamento das matérias-primas, energia e emissões dos principais equipamentos e componentes utilizados no SIAA-FSA;
- Elaborar o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) da fase de operação do sistema estudado;
- Avaliar os encargos energéticos e as emissões de Gases de Efeito Estufa da água potável distribuída na porta do consumidor;
- Comparar a intensidade energética de diferentes Cenários com o Cenário estudado;
- Interpretar e comparar os resultados da AICV e avaliação energética em relação aos objetivos do estudo;

## CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 Modelo do setor de água atual

#### 1.1.1 Aumento do consumo de água

Recurso indispensável à manutenção de vida no planeta, presente nas formações mínimas dos seres, a água é o recurso menos substituível e mais essencial. O ciclo hidrológico sustenta a vida no planeta propiciando a água doce necessária para a produção de bens (alimento, energia, fibra, etc.) e serviços (absorção de carbono, regulação do clima, manutenção da biodiversidade, etc.), além de garantir a produção industrial e o abastecimento doméstico.

A utilização sustentável da água é definida como a quantidade de água que a sociedade humana suporta a capacidade de resistir e prosperar no futuro indefinido sem prejudicar a integridade do ciclo hidrológico ou os sistemas ecológicos que dependem dele. Isto porque a água exerce um papel relevante, seja de forma direta, como provisão para o consumo, seja de forma indireta, preservando a diversidade de vida que fornece suporte para todos os demais aspectos. O bem estar humano tem total dependência na disponibilidade deste recurso e, a forma como lidamos com este, atualmente, é fator decisivo para a sobrevivência das gerações. Portanto, é de suma importância compreender que os sistemas hídricos urbanos estão posicionados em relação ao ciclo natural da água e, como modificar este ciclo relativamente à sua própria sustentabilidade em termos de quantidade e qualidade (BRASIL, 2006).

Ao longo da História, o acesso à água potável e a capacidade das sociedades controlarem o potencial da água enquanto recurso produtivo foi condutor decisivo ao progresso humano. A importância da água para a vida no agregado familiar e para o sustento através da produção são duas das bases para o desenvolvimento humano, seu acesso é uma necessidade humana elementar e um direito humano fundamental. No entanto, em um mundo cada vez mais próspero, mais de um milhão de pessoas são privadas do acesso à água potável e cerca de 2,6 milhões de pessoas não possuem saneamento adequado. Estes valores são

apenas uma pequena amostra da dimensão do problema. Todos os anos, cerca de 1,8 milhões de crianças morrem em resultado direto da diarreia e de outras doenças provocadas por água suja e más condições de saneamento<sup>4</sup> (BRASIL, 2006).

Outro ponto crucial do saneamento é o consumismo alarmante<sup>5</sup>. O consumo exagerado aliado ao aumento populacional tem gerado um processo de degradação que afeta diretamente a parcela de água potável disponível e a pressão exercida nos corpos hídricos para que atendam a demanda atual de água que tem aumentado exponencialmente.

A demanda por água potável pode crescer cerca de 60%, até meados do século, em virtude do crescimento demográfico e da atividade industrial. Em 2050, o planeta pode contar com 9,6 bilhões de habitantes, em comparação com os 7,2 bilhões atualmente. Além disso, a mudança climática, provavelmente, aumentará a variabilidade das precipitações, o número de inundação e episódios de seca (IPCC/ONU, 2007). Diante deste Cenário previsto torna-se crescente a preocupação com a preservação dos recursos hídricos e sua disponibilidade futura, pois sua oferta é cada vez mais inversamente proporcional à demanda, e sua qualidade reduzida, os rios poluídos e poucos mananciais para captação. Outro fator preocupante é a questão da má distribuição populacional em função das reservas hídricas existentes. Assim, todo o esforço que minimize o consumo de água tratada, ou que substitua o uso desta para fins menos nobres, é indispensável, pois tende a auxiliar na racionalização e sustentabilidade deste recurso.

Como apontado pela ONU, “a crise da água é, portanto, cada vez mais sobre como nós, indivíduos, e como parte de uma sociedade coletiva, regemos o acesso e controle sobre a água e seus benefícios” (IPCC/ONU, 2007).

Segundo Ghisi (2005), em geral, os locais mais populosos são justamente os que possuem pouca água; por outro lado, onde há muita água há baixo índice populacional. Pode-se citar como exemplos a região Sudeste do Brasil, que dispõe de um potencial hídrico de apenas 6% do total nacional, porém conta com 43% do total de habitantes do país, enquanto a

---

<sup>4</sup> RELATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO, 2006.

<sup>5</sup> Consumo de água é definido como o volume de água extraído de uma fonte e que não está mais disponível para o uso, devido à evaporação, incorporação em produtos e grãos, uso humano, na pecuária ou disposição no mar (UNESCO, 2009).

região norte, que compreende a Bacia Amazônica, apresenta 69% de água disponível, contando com apenas 8% da população brasileira.

No Brasil, em 2012, foram abastecidos 5.070 municípios com população urbana de aproximadamente 160 milhões de habitantes, assegurando uma representatividade de 91% em relação ao total de municípios e de 98% em relação à população urbana. Para o esgotamento sanitário, a quantidade de municípios atendida foi de 3.648 e a população urbana cerca de 149 milhões de habitantes, resultando em uma representatividade de 65,5% em relação ao total de municípios e cerca de 90% em relação à população urbana do Brasil (SNIS, 2014).

Os sistemas se deparam com grandes entraves que colocam ainda mais em evidência o uso da água enquanto recurso finitamente disponível e o sustento dos ecossistemas, bem como o conseqüente bem estar humano em situação de risco. A análise destes problemas possibilita uma visão crítica, a busca por novas formas de sanear e soluções que preservem os benefícios gerados pelo saneamento, mas preze pela preservação dos recursos naturais. As soluções oferecidas pelo sistema convencional consideram que o meio ambiente pode processar infinitamente os nossos resíduos, ou simplesmente ainda, transferem os problemas para as comunidades que vivem próximas aos rios (ESREY, 2000).

### 1.1.2 Perdas no Sistema de Abastecimento

Na atual conjuntura brasileira as perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água potável ganharam maior expressão, embora não na proporção e com a eficácia necessária ao enfrentamento do problema dada a magnitude das perdas conhecidas<sup>6</sup>.

As perdas podem ser classificadas como “perda de água física” ou “real” e “perda não física” ou “aparente”, sendo que ambas impedem a realização plena da receita operacional da companhia de saneamento. A perda física compreende a água que é produzida, mas não é consumida, por exemplo, perdas devido a vazamentos na rede de distribuição. Já a perda aparente corresponde à água fornecida, mas não faturada, como, por exemplo, a água consumida por um fraudador que dispõe de ligação clandestina e erros de medição.

---

<sup>6</sup> A International Water Association (IWA) tem procurado classificar e padronizar as perdas de água pela composição de um balanço hídrico (PROSAB, 2009).

O Banco Mundial realizou um estudo para estimar o desempenho das operadoras de água no que tange à perda de água. Nas operadoras cobertas pelo IBNET<sup>7</sup>, a média de perdas de água constatada foi de 35%. Entretanto, como grandes países em desenvolvimento ainda não são cobertos pelo IBNET e as estatísticas desses países não são confiáveis, é mais provável que o nível médio de perdas de água em países em desenvolvimento gire em torno de 40-50% (ABES, 2013).

No Brasil, a situação está longe do observado em países desenvolvidos, pois o volume de perdas é muito desigual quando se comparam as unidades da federação, operadores públicos e privados de saneamento básico. Os indicadores de perda de água das operadoras de saneamento no Brasil mostram que ainda há muita ineficiência na produção da água (ABES, 2013).

A média das perdas de água reais e aparentes nos sistemas públicos de abastecimento no Brasil é de aproximadamente 40% do volume total produzido<sup>8</sup>. Associado a esse importante volume de água perdido ao longo das atividades de captação, tratamento, transporte e distribuição, encontra-se um significativo desperdício de energia necessária ao transporte da água (PROSAB, 2009).

O consumo médio de água no país, 2012, foi de 167,5 L/hab.dia. Os consumos de 2012 apresentam variações regionais de 131,2 L/hab.dia no Nordeste, a 194,8 L/hab.dia no Sudeste. Por sua vez, ao distribuir água para garantir tal consumo, as redes sofrem perdas na distribuição, que na média nacional alcançam 36,9%, uma grande redução de 1,9% em relação a 2011, quando o valor foi de 38,8%. Os indicadores de perdas de água com dados do Ministério das Cidades - SNIS, 2012 indicam 53% e 46%, a Região Norte e Nordeste que apresentam os maiores índices, e a Região Sul, Sudeste e Centro Oeste uma média de 33%.

Segundo Gomes (2009), este problema das perdas vêm se agravando ao longo do tempo por vários fatores: envelhecimento das instalações, expansões desordenadas dos sistemas urbanos de abastecimento, ausência de sistemas adequados de medição, problemas de gestão operacional e qualidade dos serviços (mão-de-obra e material utilizado), tanto na

---

<sup>7</sup> IBNET - Parâmetros Internacionais para Redes de Operadoras de Saneamento (International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities),

<sup>8</sup> Programa de Modernização do Setor de Saneamento - PMSS.

implantação da rede quanto na execução de reparos, sistemas de bombeamento e de gestão da água ineficientes o que contribuem para o aumento do consumo energético em sistemas de abastecimento de água. Além disto, os custos de energia são, geralmente, o primeiro ou o segundo maior dos custos pagos por serviços públicos de água.

Em parte, isto é porque as perdas ocorridas nos sistemas de distribuição são elevadas tanto nos países em desenvolvimento<sup>9</sup> e, nos sistemas mais antigos em países desenvolvidos. As perdas de água significam que a energia usada para bombear, tratar e transportar a água também se perdeu. Sistemas ineficientes de bombeamento e políticas públicas de gestão da água ineficazes são um dos fatores que contribuem para a ineficiência energética em sistemas de água. A redução dos vazamentos e um aumento da eficiência do uso da água proporcionam melhorias menos onerosas em comparação com estratégias de investimento em infraestruturas adicionais, além disso, podem evitar os custos relacionados a aumento de consumo da energia, necessidades de combustível para usinas de energia, além de danos ambientais.

Portanto, a perda de água não é um problema que se configura somente após a saída da estação, mas, em todo o processo que envolve desde a captação, passando pelo tratamento e posterior distribuição. Nos sistemas de abastecimento com mananciais superficiais a perda é acrescida com a taxa de evaporação. Com a criação dos lagos e barragens esta evaporação é ainda maior por causa da concentração do corpo hídrico. Este Cenário deixa claro que os grandes projetos de infraestruturas para implantação de barragens deveriam ser submetidos a um escrutínio crítico no que diz respeito aos seus possíveis impactos sobre o meio ambiente e as populações ribeirinhas (BRASIL, 2006).

### 1.1.3 Consumo Energético

Água e Energia estão intrinsecamente ligadas: energia para transportar e tratar a água e esta para produzir energia. A água é necessária como matéria-prima para a construção, operação, manutenção das instalações e de geração de energia para o resfriamento de usinas e eliminação de resíduos. E, seu uso no setor de energia pode levar a mudanças naturais nos sistemas ecológicos e aumentar a pressão para transferências entre bacias hidrográficas para regiões que são escassas em água (GLEICK, 1994).

---

<sup>9</sup> 30% a 60% no México, Brasil e cidades da Índia e do Sul África (SANTIAGO, 2004).

Neste sentido, análises da intensidade energética, em todas as fases dos sistemas de água e esgoto, são vitais para a identificação e mitigação das ineficiências no setor, bem como, indispensável para a redução do consumo de energia.

A Intensidade Energética é definida como a quantidade de energia consumida por unidade de água relacionada aos processos de: bombeamento, extração, transporte, tratamento e distribuição de água e são determinadas, principalmente pela origem da água, volume de água transportada, distância e topografia da região (WILKINSON, 2000).

A água bruta captada pelos SAA pode ter diferentes origens: superficiais, subterrâneas, água do mar ou reciclada. Águas superficiais geralmente demandam tratamento simples, logo, a intensidade energética é menor. Outras fontes, como águas subterrâneas, ou água do mar, requerem tratamentos mais avançados, resultando em maior consumo de energia elétrica. A intensidade energética no tratamento de água também varia de acordo com o destino da água tratada. Por exemplo, usuários agrícolas e industriais requerem pouco ou nenhum tratamento, enquanto que, os usuários comerciais e residenciais, necessitam de água nos padrões potáveis de acordo a Portaria nº 2.914 - 12/11/2011. Portanto, a demanda real de energia é altamente variável por concessionária de água (CEC, 2005).

Segundo a ONU<sup>10</sup>, a demanda por água pode exceder em 44% os recursos anuais disponíveis até 2050, enquanto a demanda de energia pode aumentar 50% até o mesmo ano. Isso por que a necessidade de água para gerar energia primária está crescendo, acompanhando, simultaneamente, o crescimento econômico, as mudanças demográficas e as mudanças de estilos de vida. O mundo enfrenta dois grandes desafios: garantir um fornecimento sustentável de água para 768 milhões de pessoas que atualmente não tem acesso ao recurso; e proporcionar o acesso à energia para cerca de 1,4 bilhões de pessoas, o equivalente a 20% da população mundial atual.

O aumento na demanda de água decorrente do crescimento populacional irá colocar novas pressões sobre a quantidade de água disponível para a produção de energia. Ao mesmo tempo, os elevados custos de energia, ou a disponibilidade limitada de energia, vão restringir

---

<sup>10</sup> Conferência Zaragoza realizada na Espanha, 2014.

a capacidade de fornecer água limpa e adequada aos serviços de saneamento para milhões de pessoas que não têm acesso a esse serviço (CEC, 2005).

Globalmente, a energia comercial consumida para entregar água é mais de 7% do consumo total mundial. Uma vez que este valor não inclui a energia consumida para o tratamento de águas residuais, a energia consumida pela água e sistemas de águas residuais, juntos, respondem por uma porcentagem muito mais impactante. Com estas quantidades significativas de consumo de energia para sistemas de tratamento de água, não é surpreendente que aproximadamente 80% dos custos de processamento e distribuição de águas municipais são para a eletricidade. Nos EUA, 4% da eletricidade anual da nação são utilizadas para o tratamento de água e de águas residuais, incluindo a eletricidade necessária para a aquisição de água e descarga de águas residuais (TRIPATHI, 2007).

Dados do BEN indicam que a energia total consumida no Brasil, no ano de 2012, foi 498 TWh, enquanto que no saneamento, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS - 2011, com dados de 2010, o consumo de energia foi de 10,8 TWh, ou seja, 2% de toda eletricidade consumida. De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética - 2011, a partir de dados do SNIS 2007, a despesa com energia elétrica em 2007 atingiu o valor de R\$ 2,58 bilhões, representando, para a maioria das operadoras, entre o primeiro ou segundo item de custo (EPE, 2013).

Uma redução do consumo de energia elétrica no setor de água e esgoto significaria também custos mais baixos para os municípios ou agências responsáveis pela sua operação. Para reduzir custos e a demanda de energia elétrica em ETA's, muitas companhias de água estão substituindo bombas e motores por equipamentos mais novos e eficientes. Além disso, o uso de inversores de frequência e algoritmos para otimização do bombeamento da água tratada (TSUTIYA, 2001).

Contudo além do aspecto econômico, existe ainda o aspecto ambiental relacionando as crescentes preocupações com o meio ambiente e com as emissões de GEE que contribuem para o aquecimento global, devido o consumo de energia. Até mesmo a pegada ecológica associado com o consumo de energia por habitante seria reduzida (TRIPATHI, 2007).

À luz de uma consciência crescente no sentido de esgotamento das fontes de energia e os inúmeros impactos dos combustíveis fósseis, existe uma necessidade muito maior de eficiência energética em todos os setores. Inclusive, nas diferentes cadeias produtivas dos sistemas energéticos, a água é um importante insumo para a produção de energia, bem como a energia é um recurso vital para o abastecimento de água. Por isso, os recursos hídricos e energéticos estão intrinsecamente relacionados (MOURA, 2010).

## **1.2 Impactos associados aos sistemas de abastecimento de água**

### **1.2.1 Degradação e escassez da água**

Uma das mais importantes formas de degradação da qualidade da água é o lançamento de esgoto nos corpos hídricos que servem como mananciais de abastecimento. Muitos investimentos foram realizados no campo do saneamento, muitas obras de esgotamento sanitário foram implantadas, mas, ainda é grande o número de municípios brasileiros que não realizam tratamento de esgotos. Além da contaminação dos mananciais, o modelo de esgotamento sanitário que predomina, carrega outros problemas associados, como exemplo disso tem-se a mistura de correntes distintas de resíduos, sem nenhuma separação com valor agregado de reuso e o não aproveitamento dos nutrientes. Conforme Esrey (2000), esta tecnologia foi concebida a partir da premissa de que os nutrientes que nós eliminamos não têm valor significativo e devem ser descartados.

Outra forma também expressiva de contaminação dos mananciais é a destinação incorreta dos resíduos sólidos gerados em diferentes atividades. De acordo com o Atlas de Saneamento (BRASIL, 2011), 50,8% dos municípios brasileiros adotaram uma solução reconhecidamente inadequada como destino final dos resíduos sólidos, que são os vazadouros a céu aberto (lixões). Com a disposição inadequada dos resíduos sólidos ocorre à contaminação do solo e a possível contaminação das águas subterrâneas diminuindo a disponibilidade deste recurso.

No contexto das mudanças climáticas, os problemas relacionados com a disponibilidade de água estão se tornando ainda mais complexo. Estima-se que as regiões com baixa disponibilidade de água tendem a enfrentar mais problemas de escassez, como a elevação do nível do mar que provavelmente pode contaminar algumas águas subterrâneas

com sal, diminuindo a disponibilidade de água doce. A natureza da escassez de água pode ser uma construção social ou a consequência de abastecimento de padrões alterados em resultado das alterações climáticas. Comumente, a escassez da água tem suas raízes em regiões áridas e regiões semiáridas, afetadas por secas, e combinada com o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico (BRASIL, 2006)<sup>11</sup>.

Entre os problemas menos visíveis e mais agudos, inclui-se o declínio das camadas freáticas, resultado de um ritmo de consumo de água do subsolo muito mais rápido do que aquele ao qual o ciclo hidrológico consegue repô-la. A dissecação dos rios é outro sintoma de pressão sobre os recursos hídricos. Segundo a Avaliação Ecológica do Milênio das Nações Unidas (ONU, 2005), os ecossistemas aquáticos são hoje em dia o recurso natural mais depauperado do mundo, uma consequência do desrespeito às fronteiras ecológicas. Grande parte dessa ameaça será sentida através das alterações dos ciclos hidrológicos e dos níveis de padrões de precipitação, bem como pelo impacto das elevadas temperaturas de superfície sobre a evaporação da água.

Além disto, a Avaliação Ecológica do Milênio (2005), estima que mais de um milhão de pessoas vivem em áreas sem fonte de água renovável e o cenário atual é uma saturação da demanda per capita por água aliada a uma população crescente, ou seja, os padrões de uso da água atuais são insustentáveis. Contudo, o mundo não corre o risco de ficar sem água, mas muitos países correm o risco de não terem tempo de lidar com os problemas ambientais gravíssimos que a pressão da escassez de recursos hídricos coloca.

A escassez física da água, definida como quantidade insuficiente de recursos para satisfazer a procura, é uma das características inerentes à questão da segurança da água em alguns países. Prevê-se que, nas próximas décadas, o aumento do consumo de água potável e esgotamento dos recursos de água doce irão causar um problema mundial de escassez de água (ONU, 2005).

Em 2025, quase um terço da população mundial sofrerá de uma situação de estresse de água. Ao mesmo tempo, o esgotamento gradual dos combustíveis não renováveis e as consequências relacionadas com as mudanças climáticas devem levar a mudanças

---

<sup>11</sup> RELATÓRIO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO.

fundamentais no fornecimento do uso de água e energia. Mas, as situações de penúria absoluta ainda são a exceção, e não a regra, pois a escassez ou o excesso de um bem tão precioso como a água pode transformá-lo em um agente de destruição como as mudanças nas condições climáticas e na biodiversidade (UNESCO, 2009).

Avanços significativos têm sido feitos no sentido de alcançar maior qualidade de água potável e menor nível de poluentes nas águas residuais descarregadas para o ambiente. Porém, a sustentabilidade da água e dos sistemas de águas residuais não está limitada à qualidade do serviço prestado pelas concessionárias. A avaliação de sustentabilidade deve incorporar também o consumo de energia e os potenciais impactos ambientais sobre o meio ambiente a partir desses sistemas.

No Brasil, a preocupação de associar a sustentabilidade climática à questão da eficiência energética no setor elétrico é pequena, devido ao fato da produção de eletricidade estar calcada, preponderantemente, em base hídrica. Contudo, esse não é um tipo de postura que deve ser mantida, pois, de acordo com um Cenário referencial traçado para os países em desenvolvimento, espera-se uma diminuição dos investimentos em geração de eletricidade por meio de energia hidráulica devido ao elevado custo de implantação, aos problemas ambientais associados a um deslocamento substancial para o gás natural. Isso é confirmado pela tendência da mudança gradual do controle energético antes exercido pelo aparato estatal para a iniciativa privada (MENDONÇA e GUTIEREZ, 2000).

### 1.2.2 Energia e as mudanças climáticas

A produção e o uso da energia estão fortemente relacionados com o desenvolvimento das sociedades, trazendo muitos benefícios: a possibilidade de utilização de aparelhos elétricos, a preparação e a conservação de alimentos e o conforto térmico nas residências; os transportes de pessoas e de cargas mais rápidos e eficientes; a grande diversificação das indústrias e dos produtos fabricados; entre muitos outros. Entretanto, também apresentam diversos impactos negativos. De fato, a forma como a energia é produzida e utilizada está na origem de muitos dos problemas ambientais atuais (GOLDEMBERG, 2003).

Especificamente, tem-se a eletricidade como uma forma de energia bastante importante, tanto por sua participação na matriz energética mundial quanto pelo impacto que

gera. Por um lado, tem-se que 17% da energia consumida no mundo, no ano de 2007, foram de energia elétrica, sendo o 2º tipo de energia mais consumido (IEA, 2009). Por outro, observa-se que a geração de eletricidade interfere de várias maneiras no ambiente: os sistemas elétricos causam impactos nas funções dos ecossistemas incluindo regulação climática, ciclagem de nutrientes, distribuição de água, dinâmica dos solos e população natural, entre outros. Entre esses impactos relacionados à energia, a mudança climática global tem se mostrado a mais preocupante (MIRANDA, 2012 Apud DINCER, 1998; ROSEN, 1999; BALAT, 2005).

Primeiramente, pelo fato das mudanças climáticas atingirem uma escala global, pois os gases causadores desse impacto se dispersam rapidamente na atmosfera terrestre, não fazendo diferença a localização onde são emitidos e provocam mudanças globais na circulação de água e ar. Além disso, o principal gás do efeito estufa – o CO<sub>2</sub> – é proveniente da queima de combustíveis fósseis, que são a maior fonte de energia utilizada. No ano de 2007, 68% da eletricidade produzida no mundo utilizava combustíveis fósseis (IEA, 2009) e a projeção feita para o ano de 2030 é que essa porcentagem deva permanecer nesse patamar (MIRANDA, 2012 apud IEA, 2008).

Para que as emissões de cada GEE sejam transformadas em emissão de CO<sub>2</sub>eq utiliza-se o Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential, GWP). O GWP do dióxido de carbono é utilizado como indicador da categoria de impacto em GEE, sendo assim, todos os outros GEEs são convertidos para CO<sub>2</sub> e através dos fatores de emissão, descrito em diversas publicações do IPCC. Na contabilização das emissões de GEE de um estabelecimento, produto ou serviço são elaborados inventários a fim de levantar todas as emissões relacionadas a uma unidade de referência em estudo – tonelada de produto, quantidade de energia ou prestação de serviços – que resulta numa emissão final dada em massa de CO<sub>2</sub> (MEDEIROS et al., 2013).

Na metodologia descrita pelo IPCC, são consideradas as emissões geradas no momento da queima do combustível e as emissões fugitivas relacionadas com a exploração de fontes de energia primária, com a sua conversão em formas de energia mais úteis em refinarias e usinas de eletricidade, com a transmissão e distribuição dos combustíveis e com o

uso dos combustíveis em aplicações estacionárias e móveis. Esses fatores de emissão são diretamente dependentes do tipo de combustível utilizado (BRASIL, 2010).

Em 2013, a Empresa de Pesquisa Energética –EPE- publicou um inventário referente às emissões de CO<sub>2</sub>eq, do ano de 2012, por setores no Brasil, baseado no Ministério do Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais da Grã-Bretanha. Estes setores englobaram a energia, processos industriais, agropecuária, mudança de uso da terra e do solo e tratamento de resíduos.

De acordo com essa pesquisa o total de emissões antrópicas (resultantes da ação do ser humano) associadas ao setor de energia da matriz energética brasileira atingiu 429 MtCO<sub>2</sub>eq, sendo a maior parte 49% (209,3 MtCO<sub>2</sub>eq) gerada no setor de transporte, 21% indústrias, 5% residências e 26% outros, que incluem os setores agropecuários, serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas (MCTI, 2013).

Esse resultado pode ser atribuído à elevada participação da energia renovável na matriz energética brasileira, pois a energia elétrica consumida no Brasil tem origem, majoritariamente, na geração hidroelétrica, responsável por 63,4%, 10,4% gás natural, seguida por termoelétricas à base de combustíveis fósseis (carvão mineral e petróleo), que contribuem com 7,9%, enquanto que as demais formas de geração (nuclear, biomassa, eólica) representam 12,3% e 6% importação (BRASIL, 2013).

Diferentemente dos países industrializados, no Brasil a maior parcela das emissões líquidas estimadas de CO<sub>2</sub> é proveniente da mudança do uso da terra, em particular o desflorestamento e a agropecuária, principalmente a pecuária. Isto se deve ao fato do Brasil ter a maior reserva de floresta tropical mundial e à importância da agropecuária.

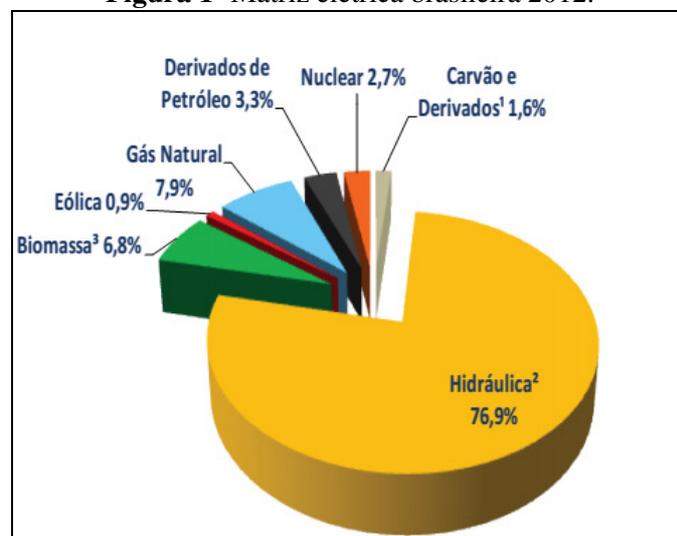
Os fatores de emissão de GEE são originados a partir de inventários. A depender da abordagem utilizada o resultado da emissão de uma mesma unidade funcional, por exemplo, gCO<sub>2</sub> /kWh de energia elétrica pode variar significativamente.

Os fatores de emissão refletem a matriz energética do país como um todo, por exemplo, o estudo de Santoyo-Castelazo e Azapagic (2011), para a geração de eletricidade da cidade do México, calculam um fator de emissão de 571gCO<sub>2</sub>eq/kWh onde cerca de 70% da

eletricidade gerada utiliza combustíveis fósseis, como gás natural, óleo combustível, carvão mineral e óleo diesel. Em outro estudo, Kim e Dale (2005) estimam um fator de emissão de 694,8 gCO<sub>2</sub>eq/ kWh para a matriz dos Estados Unidos onde também 70% da eletricidade provêm de combustíveis fósseis. O maior fator de emissão encontrado para os EUA pode estar relacionado, entre outras causas, ao fato de que o carvão é o combustível mais utilizado enquanto que no México é o gás natural em ciclo combinado. De acordo com Kim e Dale (2005), 81% das emissões de GEE da matriz estão relacionadas com a queima do carvão. Já para a China, Di et al. (2007) apresentaram um fator de emissão de 943,25gCO<sub>2</sub>eq/kWh, característico também de uma matriz predominantemente baseada em combustíveis fósseis (MIRANDA, 2012).

No Brasil, um dos fatores de emissão mais usados na construção de inventários de GEE é o de consumo de energia elétrica, que no caso do Brasil é representado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN). O SIN reflete a matriz elétrica nacional com a parcela de cada uma das fontes de geração de energia elétrica consumidas no país, Figura 1.

**Figura 1-** Matriz elétrica brasileira 2012.



<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria

<sup>2</sup> Inclui importação

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.

**Fonte:** Adaptado Brasil, 2013.

Diversos pesquisadores pontuam que as usinas hidrelétricas do sistema nacional têm taxas de emissão de carbono da ordem de 0,10 tCe/MWh (100gCe/kWh) gerado que, embora menores na média que as das termelétricas, não são desprezíveis (ROSA et al., 2004; CARDOSO e NOGUEIRA, 2009; FEARNSSIDE, 2008; FARRER, 2007). Considerando as

emissões das termoelétricas, 0,52 tCeq/MWh (520gCeq/kWh) gerados, a média nacional de emissão de seria de 0,12 tCeq/MWh gerados tendo por base as fontes utilizadas em 2007, quando a energia de origem fóssil tinha uma participação de 5% na geração do sistema interligado (CARDOSO e NOGUEIRA, 2009).

O Programa Brasileiro GHG Protocol sugere o uso do fator de emissão do consumo de energia elétrica fornecido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia de 69g CO<sub>2</sub>/kWh. Por outro lado, a EPE divulgou para o ano de 2012 o fator de emissão na produção de energia elétrica, na economia brasileira no valor de 80 gCO<sub>2</sub>/kWh. Percebe-se que ambos os fatores são dados apenas em função de CO<sub>2</sub>. Caso representassem todos os GEEs deveriam estar em CO<sub>2</sub>eq (BRASIL, 2013).

O primeiro modelo a expressar as emissões provenientes da geração e distribuição de energia elétrica no Brasil, em termos de ACV, foi o estudo de Coltro et al. (2003). Este estudo foi baseado na média do mix de eletricidade brasileira no ano de 2000, avaliando toda a produção e distribuição de energia. O Inventário para a produção de energia foi baseado em dados fornecidos pelos Ministérios brasileiros (BEN), estações de energia elétrica e Petrobrás. O resultado desse estudo indicou um fator de emissão de 124 g de CO<sub>2</sub>eq/kWh. Coltro et al.(2003) destacou que se incluir o CO<sub>2</sub> renovável como biogênico no resultado, ou seja, sem impacto para o aquecimento global, a matriz energética brasileira teria um fator de 184 g CO<sub>2</sub>eq/kWh.

Um estudo semelhante foi realizado por Miranda (2012), que aplicou a ACV para o cálculo do fator de emissão de GEE da matriz energética brasileira do ano de 2010, baseado em dados locais. O resultado desse estudo aproximou-se do valor encontrado por Coltro et al. (2003) indicando um fator de 125g CO<sub>2</sub>eq/kWh.

Um grupo de excelência em ACV da Universidade de Stuttgart na Alemanha compilou um inventário de GEE para a energia elétrica consumida no Brasil. O inventário denominado *dataset BR: Power grid mix* representa o ciclo de vida de todas as fontes que compõe a matriz elétrica brasileira, a distribuição e as perdas até a entrega dessa energia ao usuário. Foi considerada também a energia consumida pelas próprias usinas e as importações através dos métodos IPCC, RECIPE e TRACI. O resultado médio do fator de emissão desse inventário foi

de 745 gCO<sub>2</sub>eq / kWh visto que houve uma pequena variação a depender do método (MEDEIROS et al., 2013).

O *Ecoinvent* no Simapro 7.3 também considerou o Ciclo de Vida do consumo elétrico brasileiro. Ele distingue-os entre baixa, média e alta voltagem. Sendo contabilizadas as cadeias de produção dos insumos, infraestrutura, transporte e as importações da Argentina e do Paraguai. O resultado obtido para as emissões médias de GEE do Brasil foi 285 gCO<sub>2</sub>eq / kWh.

A grande variação nos resultados das emissões de GEEs de um mesmo produto (1 kWh de energia elétrica) pode ser atribuída à falta do uso padronizado de uma mesma metodologia na modelagem de cada inventário, a variação dos limites e as suposições adotadas.

Supõe-se que tais variações são advindas de diferenças nos inventários das hidrelétricas, visto que comparando os inventários das matrizes americanas nas principais bases de dados (ex. *GaBi*, *Ecoinvent*) na qual é predominantemente fóssil, os resultados foram bem próximos e os resultados baseados em dados locais se aproximaram.. Isso significa que a tecnologia fóssil é mais conhecida e a modelagem das emissões de hidroelétricas é mais sujeita a incertezas.

Essa diferença ilustra a importância de se considerar o ciclo de vida das tecnologias para o cálculo das emissões de GEE e como a não inclusão leva a uma subestimação dos reais impactos da geração de eletricidade.

#### 1.2.2.1 Iniciativas de redução de emissão de GEE

O Brasil é um país signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - Rio 92, pois mantém compromissos voluntários de redução de emissão de GEE. Em 2009, foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC (Art. 12 da Lei n 12.187/2009) que entre seus objetivos busca ações e medidas que possam ser empreendidas para mitigar as emissões de gases de efeito estufa geradas no país, bem como

aquelas necessárias à adaptação da sociedade aos impactos que ocorram devido à mudança do clima (BRASIL, 2009).

De acordo com PNMC, o Brasil adotará ações com vistas a reduzir os GEE entre 36% e 38% suas emissões projetadas até 2020 (3,236 Gt CO<sub>2</sub>eq), com base nos valores de 2005. Dessa forma, a redução correspondente aos percentuais estabelecidos encontra-se entre 1,168 Gt CO<sub>2</sub>eq e 1,259 Gt CO<sub>2</sub>eq, respectivamente, para o ano em questão.

As ações necessárias para a consecução dos compromissos voluntários assumidos pelo Brasil vão resultar do esforço de órgãos do governo federal e dos governos estaduais, bem como do conjunto da sociedade. Os impactos das mudanças climáticas afetam a agricultura, ecossistemas, recursos hídricos, oceanos, setores econômicos e a saúde humana. De acordo o Relatório de Impactos da Mudança Climática - IPCC, 2014, felizmente, ainda há tempo para ações de mitigação e adaptação que reduzam os prejuízos desses efeitos. Porém, atualmente, as pessoas não estão prontas para enfrentar as piores consequências do aquecimento global.

Quanto mais demorar em adotar as medidas de redução das emissões dos GEE e adaptação às mudanças climáticas, piores elas serão. O IPCC tenta convencer governos, empresas e a sociedade de que existem oportunidades na adaptação, com ganhos econômicos e de saúde pública a serem conquistados por aqueles que fizerem investimentos em setores como energia limpa, conservação ambiental e manutenção de serviços ecossistêmicos (IPCC, 2014).

Um dos destaques deste Relatório citado acima, é que, se as emissões de gases do efeito estufa seguirem subindo, no pior Cenário, até o fim do século XXI, o número de pessoas expostas a grandes enchentes serão três vezes maiores do que se as emissões tiverem sido reduzidas; Para o Brasil, o IPCC destaca que o aquecimento global pode ser de 1,7°C, no melhor Cenário de redução de emissões até 6,7°C, no pior Cenário. Destaca-se também a questão dos recursos hídricos, no Nordeste brasileiro, por exemplo, pode-se enfrentar uma redução de 22% na precipitação até 2100. O aumento das temperaturas resultará também na migração de espécies para o Sul e Sudeste, o que deve aumentar os riscos de extinções, visto que essas regiões não possuem tantas áreas naturais.

De acordo com o Relatório IPCC 2014 (cap. 3), os serviços públicos de água serão confrontados com as seguintes condições: altas temperaturas, o que reduz os volumes de neve e gelo e aumentam a taxa de evaporação dos lagos, reservatórios e aquíferos. Estas alterações diminuem o armazenamento natural da água. Além disso, as temperaturas ambientes mais elevadas aumentam a demanda de água, e com isso, aumentam a competição para esse recurso; podem ocorrer mudanças na tempestividade dos fluxos de rios e secas mais frequentes e intensas, o que aumenta a necessidade de armazenamento de água de chuva.

O armazenamento de água de chuva tem sido reconhecido como uma importante adaptação institucional e social para a mudança climática pelo IPCC, mas essa adaptação é apenas uma das vantagens que oferece essa técnica no que diz respeito às mudanças climáticas. Reduzir o consumo de água também oferece uma maneira eficaz de reduzir emissões de consumo de energia elétrica e de GEE (MAAS, 2009).

Na ausência de políticas de mitigação das alterações climáticas, as emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com a energia terão seus níveis atuais aumentados entre 55 a 70 Gt de CO<sub>2</sub> em 2050. Isto corresponde a um aumento entre 80% a 130% em relação às emissões de cerca de 30 Gt de CO<sub>2</sub> em 2010. Contudo, a despeito do potencial do aumento da eficiência energética como forma de atenuar o volume das emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de produto, outros fatores podem se sobrepor para elevar o nível dessas emissões. Em particular, são projetadas altas taxas para o consumo de energia nos países em desenvolvimento, principalmente nos setores industriais e de transportes. Além disso, o crescimento da renda per capita e da população desses países pode servir para contribuir ainda mais para o agravamento futuro da emissão de CO<sub>2</sub> (MENDONÇA E GUTIEREZ, 2000). Entretanto é necessário reconhecer os riscos ambientais do uso de energia e consumo indiscriminado dos recursos hídricos.

### **1.3 Avaliação do Ciclo de Vida**

#### **1.3.1 Conceito**

A ACV possibilita avaliar os potenciais impactos associados a um produto, processo ou serviço durante seu ciclo de vida, do “berço ao túmulo”, a partir da identificação e quantificação das entradas e saídas e das oportunidades de melhorias ambientais. Ou seja, avalia o desempenho de produtos ao longo de todo seu ciclo de vida, desde a extração dos

produtos naturais (berço), passando por todos os elos industriais de sua cadeia produtiva, pela sua distribuição e uso até sua disposição final (túmulo) (SETAC, 1993).

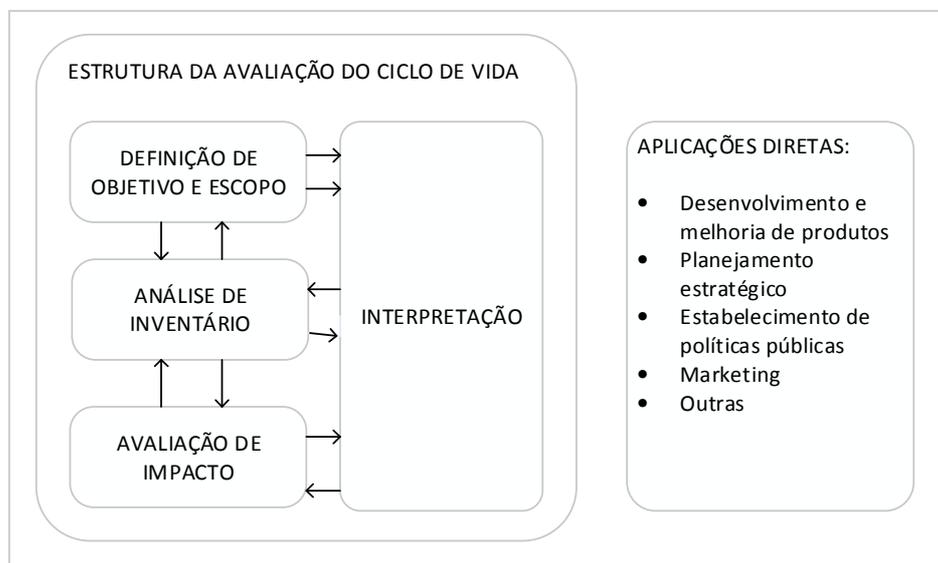
A ACV permite avaliar a interação dos elementos envolvidos em um produto ou serviço com o meio ambiente ao longo do seu ciclo de vida, e quaisquer alterações no meio ambiente, negativas ou positivas, que resulte dos processos de um sistema (RODRIGUES et al, 2008). Esta interação inclui todo o ciclo de vida do produto ou da atividade, abrangendo a extração e processamento de matérias-primas; produção; distribuição; uso; manutenção; reciclagem, disposição final; e todos os transportes envolvidos.

### 1.3.2 Metodologia ACV

De acordo a norma ISO 14044 (2009a), um estudo de ACV deve incluir a definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados.

Todas essas etapas estão inter-relacionadas, demonstrando assim o caráter interativo da metodologia, como pode ser observado no esquema apresentado, na Figura 2.

**Figura 2** – Fases de um estudo de ACV.



Fonte: Adaptado da Norma ABNT ISO 14040 (2009a).

### 1.3.2.1 Definição de objetivo e Escopo

Na fase da definição de objetivo deve ser apresentado o objetivo, as metas e todas as condições necessárias para a realização dessa análise. O escopo inclui a extração e o processamento de matérias-primas, produção, transporte e distribuição, utilização/reutilização/manutenção, reciclagem e disposição final.

O objetivo do estudo deve abordar questões como aplicações previstas, as razões para fazer o estudo e o público-alvo. Sob o âmbito do estudo a ISO 14044 (2009), recomenda as seguintes questões consideradas e definidas: a função do sistema de produtos, ou, no caso de estudos comparativos, os sistemas; requisitos de dados, a unidade funcional; os limites do sistema de produtos; as atribuições dos procedimentos; hipóteses, limitações, tipo de revisão crítica, se houver, tipo e formato do relatório requerido para o estudo (ABNT, 2009b).

A partir desta série de questões a atenção especial deve ser dada para a unidade funcional, pois fornece uma referência para a qual os dados de entrada e saída na fase de inventário serão relacionados. Uma vez definida a unidade funcional, a quantidade de produto que é necessária para cumprir a função deve ser calculada e o resultado dessa quantificação será o fluxo de referência (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Na definição do escopo uma decisão importante deve ser tomada para determinar os métodos que serão aplicados na modelagem do sistema: modelagem ACV Atribucional ou ACV Consequencial. Isto tem implicações para muitas das escolhas posteriores, incluindo o inventário de dados que devem ser recolhidos ou obtidos.

Esta decisão deve ser tomada de acordo com o objetivo da ACV/ ICV (Inventário do Ciclo de Vida), pois depende do contexto do estudo, bem como de outros critérios como o número de reprodutibilidade e robustez, a viabilidade prática, a aceitação das partes interessadas, e outros. A escolha do quadro e as abordagens de modelagem ICV não são, portanto, independente, mas devem ser derivadas individualmente para cada estudo (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

O princípio da modelagem Atribucional retrata os potenciais impactos ambientais que podem ser atribuídos a um sistema, por exemplo, um produto, ao longo de seu ciclo de vida,

ou seja, a montante ao longo da cadeia de fornecimento e a jusante, após o uso do sistema e da cadeia de valor no fim de vida. Faz uso de históricos, baseados em fatos, dados mensuráveis de incerteza conhecida e inclui todos os processos que são identificados para contribuir de forma relevante para o sistema a ser estudado (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

O princípio da modelagem Consequencial destina-se a identificar as consequências que uma decisão sobre o sistema tem para outros processos, tanto no sistema analisado como em outros sistemas. ACV Consequencial, portanto, não está refletindo a cadeia de suprimentos específica ou real, ou previsto, mas a cadeia genérica de suprimentos hipotéticos que são modelados e, incluem interações políticas e mudanças no comportamento do consumidor (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

O contexto da decisão também determina diretamente outros aspectos-chave da definição do escopo, das decisões a serem tomadas durante a coleta de dados de inventário e modelagem, o cálculo dos resultados da avaliação de impacto, e, finalmente, para a interpretação dos resultados.

O limite do sistema é outra questão importante sobre o que deve ser incluído e o que deve ser excluído, pois influenciará a coleta de dados. Há uma série de regras de corte e estas incluem certo grau de subjetividade. Recomenda-se também desenhar um diagrama de fluxo, para estabelecer limites, uma vez que proporciona uma melhor visão geral do sistema.

#### 1.3.2.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida - ICV

Deve ser elaborado o ICV, no qual se quantificam as entradas e saídas de matéria e energia das fronteiras do sistema determinadas na fase anterior em todas as etapas do ciclo de vida. As entradas do processo podem ser divididas em duas categorias: entradas ambientais<sup>12</sup> e insumos econômicos (produtos, produtos semiacabados ou energia). Da mesma forma, existem dois tipos de saídas: saídas ambientais<sup>13</sup> e saídas econômicas<sup>14</sup> (FRIEDRICH, 2001).

Esta etapa exige um bom conhecimento sobre cada um dos processos incluídos, e, na maioria dos casos, é a parte mais intensiva de um estudo de ACV. Se os dados quantitativos

---

<sup>12</sup> Matérias-primas e recursos energéticos.

<sup>13</sup> Emissões para o ar, água, solo.

<sup>14</sup> Produtos semiacabados ou energia.

não são obtidos para alguns dos processos no sistema, em seguida, os dados qualitativos têm que ser utilizados (idem, 2001).

Dados gerais podem ser obtidos a partir de organizações comerciais, pesquisas de opinião pública, associações de fabricantes, etc. Normalmente, nesta fase, é utilizado um pacote de software de ACV com uma base de dados de inventário e instalações de cálculos.

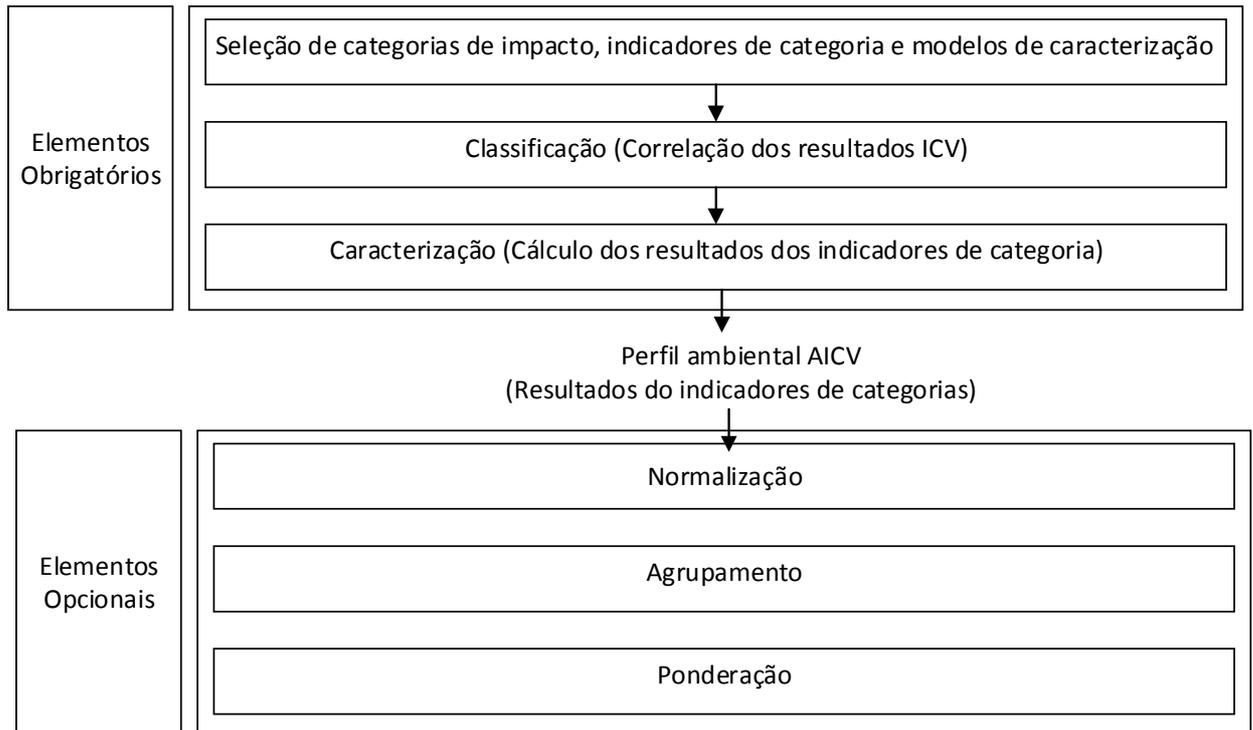
### 1.3.2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida - AICV

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida - AICV é a terceira fase de uma ACV e seu objetivo é avaliar a importância dos potenciais impactos decorrentes das entradas e saídas na lista de inventário. Também é destinada a reduzir a complexidade e o volume dos dados de inventário por traduzir esses dados em problemas ambientais.

A AICV é um processo qualitativo e quantitativo para caracterizar e avaliar as cargas ambientais identificadas no inventário, tendo dois objetivos: tornar o inventário mais relevante por ampliar o conhecimento sobre os potenciais impactos ambientais associados aos dados de entrada e saída, e facilitar o agrupamento e interpretação dos dados de modo que sejam mais palpáveis e significativos para a tomada de decisão (FERREIRA, 2004).

De acordo com a ISO 14044 (2009), existem elementos obrigatórios e opcionais para esta fase conforme ilustrado na Figura 3. Os elementos obrigatórios convertem os resultados do ICV em indicadores de categorias (perfil ambiental) para as diferentes categorias de impacto e os elementos opcionais servem para normalizar, agrupar, ponderar os resultados do indicador e técnicas de análise de qualidade dos dados.

**Figura 3** – Elementos da fase AICV.



Fonte: Adaptado da ISO 14040/2009

A classificação é o processo pelo qual os dados de inventário de entrada e de saída são atribuídos às categorias escolhidas como acidificação, eutrofização, aquecimento global, depelação da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade, dentre outros aspectos.

Alguns dos resultados, por exemplo, o NOX, contribui para mais de uma categoria e, portanto, essas saídas têm que ser contadas, para cada categoria de uma só vez. Contagem dupla ou tripla é aceitável se os efeitos forem independentes um do outro, enquanto que a contagem dupla de diferentes efeitos na mesma cadeia, como a diminuição do ozônio estratosférico e efeitos toxicológicos, como o câncer de pele, não é permitida. A atribuição adequada dos aspectos ambientais às suas categorias de influência é uma condição essencial para conferir relevância e validade à avaliação de impacto (SEO e KULAY, 2006).

A caracterização calcula os indicadores de categorias de impacto que envolve a conversão dos resultados do ICV para unidades comuns e a agregação dos resultados convertidos dentro da mesma categoria de impacto. Essa conversão utiliza fatores de caracterização e o resultado do cálculo é um indicador numérico (ABNT, 2009b). O método de cálculo dos resultados dos indicadores deve ser identificado e documentado, incluindo a

escolha de valores e pressupostos utilizados. Se os resultados do ICV não estiverem disponíveis ou se a qualidade dos dados não for suficiente para que a AICV satisfaça o objetivo e escopo do estudo, será necessária uma coleta de dados interativa ou um ajuste do objetivo e escopo (ABNT, 2009b).

Os elementos opcionais são passíveis de serem utilizados dependendo do objetivo e escopo da ACV. Como por exemplo, a normalização é o passo que tenta estabelecer como é grande o consumo de recursos e o potencial de impactos que são relativos aos impactos das atividades da sociedade como um todo. Outro termo opcional, utilizado na literatura para a avaliação é a ponderação e, em alguns estudos de normalização é mesclada com valorização. O objetivo é produzir uma pontuação única através da ponderação e agregação de todos os escores das categorias de impacto definidas. Por fim o agrupamento, processo pelo qual as categorias de impacto são atribuídas em conjunto. Por exemplo, as categorias de impacto podem ser classificadas em uma hierarquia dada como prioridade alta, média ou baixa (FRIEDRICH, 2001).

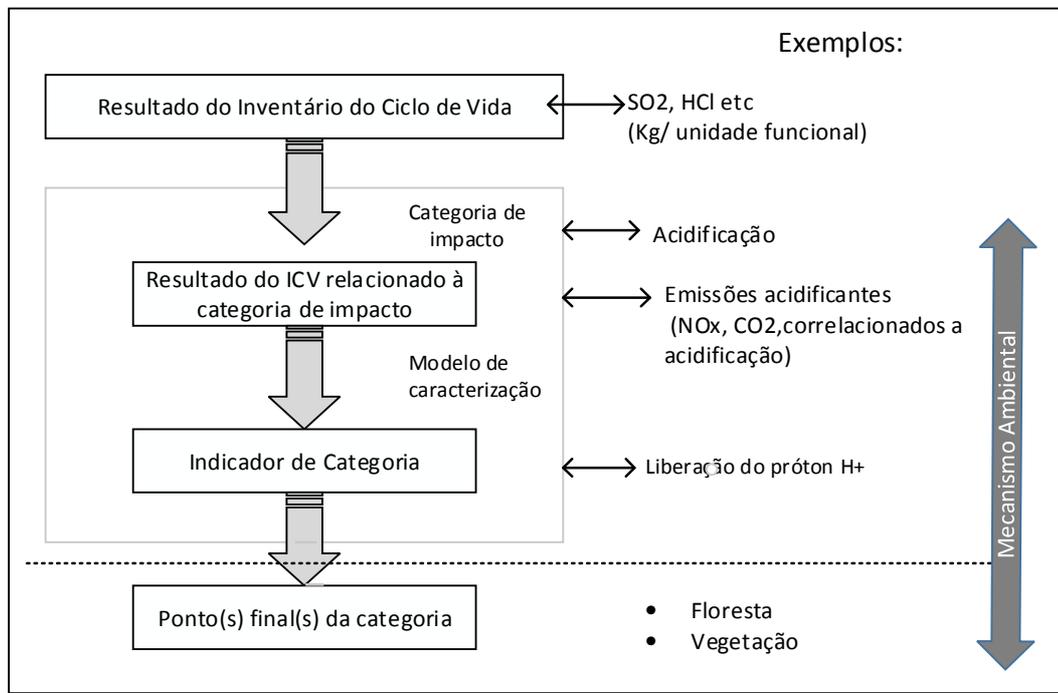
#### 1.3.2.3.1 Método de Avaliação de Impacto e Categorias de Impactos

Algumas questões são levadas em consideração na escolha das categorias de impacto ambiental como: completude (todos os problemas ambientais relevantes devem ser cobertos), praticidade (não é prático ter muitas categorias), independência (categorias mutuamente independentes devem ser selecionadas para evitar dupla contagem de impactos - por exemplo, óxidos de nitrogênio contribuem para a acidificação e nitrificação) e relação ao passo de caracterização (para as categorias selecionadas deve haver modelos de caracterização disponíveis para o próximo passo da avaliação do impacto) (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

As categorias de impacto ambiental devem ser escolhidas de acordo com o objetivo e âmbito do estudo a fim de descrever os impactos causados. Para cada categoria de impacto da AICV, é necessário: determinação do modelo e dos fatores de caracterização, identificação dos dados do ICV que podem ser relacionados à categoria de impacto, definição do indicador de categoria e identificação dos pontos finais de categoria.

A Figura 4 representa os componentes da AICV, apresentando a relação entre eles, utilizando como exemplo os conceitos relativos à categoria de impacto “acidificação”.

**Figura 4** – Conceito de indicadores de categorias.



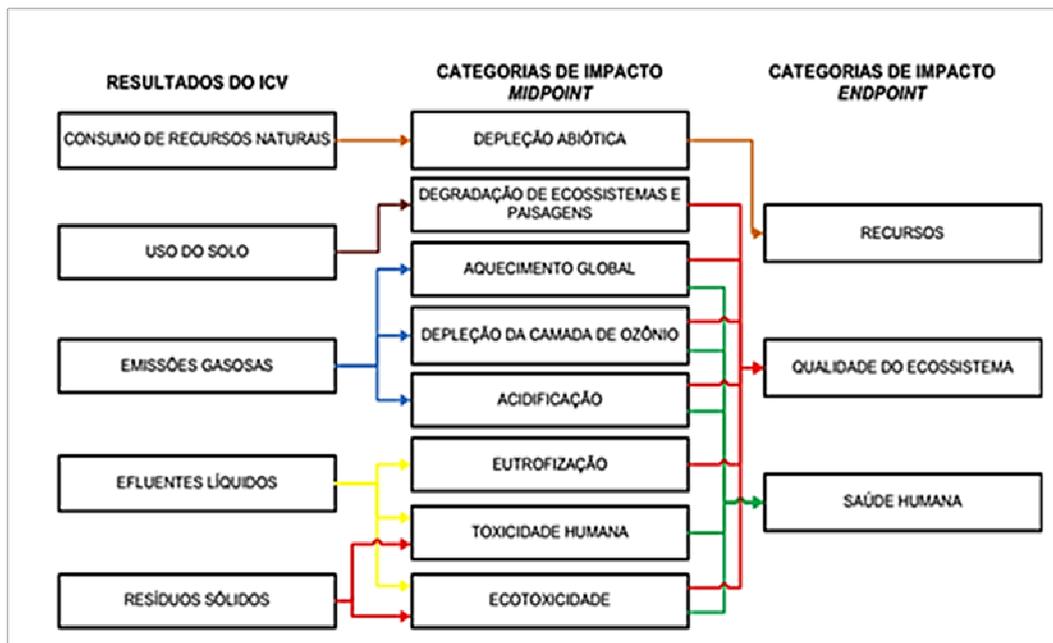
Fonte: Adaptado da ABNT (2009b).

A seleção das categorias de impacto, bem como os métodos a serem aplicados deve ser abrangente no sentido de envolver todas as questões ambientais relevantes relacionadas com o sistema analisado (por exemplo, o produto). Os modelos de caracterização possuem duas formas de abordagens para explicar a interconexão dos resultados de ICV com os impactos ambientais: *midpoint* e *endpoint* (SHARRAI, 2010).

A abordagem *midpoint* refere-se ao indicador para cada categoria de impacto que se expressa no meio do caminho entre os resultados de ICV e ponto final. Traduz a categoria de impacto em fenômeno real. As categorias de impactos que estão no ponto médio são degradação de ecossistemas, aquecimento global, depelacão da camada de ozônio, a acidificação, eutrofização, ecotoxicidade e toxicidade humana. Exemplos de metodologias de *midpoint* são: CML 2001, e 97 EDIP TRACI, IPCC/2007.

A abordagem *endpoint* também é conhecida como abordagem orientada para o dano. Refere-se ao indicador de categoria para cada impacto localizado no final da vida como indicador no ponto de extremidade. Traduz a categoria de impacto relacionada com a área de proteção, tais como a saúde humana, a qualidade do ecossistema e recursos naturais. Exemplos de metodologias *endpoint* são: Ecoindicador 95 e 99, EPS 92, 96 e 2000 (SHARAAI et al., 2010). A Figura 5 representa as relações entre os resultados do ICV e as categorias de impacto *midpoint* e *endpoint*.

**Figura 5** – Relações entre os resultados do ICV e as categorias de impacto de *midpoint* e *endpoint*.



Fonte: Adaptado de SETAC (1993), Roux et al. (2010) e Hauschild et al. (2013).

Desde o início dos anos 90 inúmeras metodologias AICV têm sido desenvolvidas, pois o uso de vários métodos torna difícil a comparação e interpretação dos resultados de uma ACV. Até certo ponto, pode haver diferentes abordagens AICV de interesse em certas aplicações, mas é necessário um método base. A norma ISO 14044 (2006) apresenta uma padronização nos princípios básicos, pois aborda a escolha de dois modelos em termos muito gerais e as metodologias existentes AICV podem ser vistas como ISO compatível (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Os grupos de trabalho SETAC, mais tarde seguido por grupos de trabalho no âmbito da Iniciativa do Ciclo de Vida UNEP/SETAC, começaram voluntariamente a trabalhar em consenso científico e desenvolvimento de uma prática recomendada para uma padronização. Estas foram complementadas por atividades de muitas outras organizações, tais como Jemai, EPA dos EUA e pela Comissão Europeia. Como resultado dessas atividades, princípios foram desenvolvidos, por exemplo: CML (Holanda), Ecoindicador 99 (Holanda), EDIP 2003 (Dinamarca), EPS (Suécia), Impact 2002+ (Suíça), TRACI (EUA), LIME (Japão), LUCAS (Canadá), CED e IPCC 2007. Esses princípios podem ser seguidos pelo guia operacional baseado nas normas da ISO 14044 para ACV, nomeado *ILCD Handbook – General Guide for Life Cycle Assessment*, com a proposta de fornecer orientações para conduzir o passo a passo do estudo ACV (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

Os métodos estão integrados nos softwares utilizados para estudos de ACV, porém não existe uma metodologia ou orientações claras para a escolha dos métodos mais adequados para AICV. A escolha deve ser feita com base nas questões ambientais relevantes para o ciclo de vida e condizente com o objetivo do estudo.

#### 1.3.2.4 Interpretação

Interpretação é a quarta e última fase na ACV na qual se quantifica todo o estudo realizado. O objetivo desta fase é reduzir a quantidade de dados quantitativos e qualitativos coletados para uma série de questões-chaves, que poderão ser usadas em um processo de tomada de decisão. No entanto, esta redução deve dar uma cobertura aceitável na representação das fases anteriores em uma ACV (ABNT, 2009a).

Esta fase é realizada em interação com as outras três fases do ACV. Neste caso, se os resultados das fases anteriores não são bons suficientes para coincidir com o objetivo e âmbito, como definidos no início do estudo, em seguida, são necessárias melhorias. Isto inclui a melhoria da análise de inventário, por exemplo, recolha de dados adicionais, alteração dos limites ou melhoria da qualidade dos dados.

Como resultado, o estudo de impacto tem que ser repetido. Estes processos iterativos devem ser repetidos até que os requisitos da fase do objetivo e escopo são preenchidos como descrito pelos passos de interpretação. As três etapas principais da interpretação de acordo

com a ISO 14044/2009 são: identificação dos problemas significativos com base no inventário e nas fases de avaliação de impacto da ACV, a avaliação (sensibilidade, integridade e verificações de consistência) e limites.

### 1.3.3 Críticas e limitações do uso da ACV

Como todo indicador ambiental existe críticas relacionadas ao seu uso. A UNEP/SETAC, com a Iniciativa do Ciclo de Vida, gera recomendações para ajudar a identificar as melhores práticas para a ACV no âmbito definido pelas normas ISO 14040 e para tornar os dados, métodos e estudos de ACV mais consistentes, disponíveis e aplicáveis em todo o mundo (HAUSCHILD et al., 2013).

Porém, há alguns problemas em cada fase da ACV que devem ser examinados e aprimorados. Por exemplo, na etapa do Objetivo e Escopo, os problemas podem estar relacionados na escolha errada da unidade funcional, na delimitação da fronteira do sistema, a consideração dos impactos econômicos e sociais e a escolha dos Cenários alternativos. No Inventário os problemas mais visíveis são a alocação, os critérios para o que é representativo ou desprezível e as especificidades técnicas locais. Na AICV as maiores complicações são na escolha dos métodos de avaliação, das categorias de impacto e a singularidade e dinâmica do ambiente local. Na Interpretação, os problemas podem ser a ponderação, avaliação e a incerteza nos processos de decisão.

Além disso, a metodologia da ACV em alguns trabalhos muitas vezes não é explicada em grande detalhe, ou seja, os limites do sistema não estão claramente definidos ou a fonte para os dados do inventário não são fornecidos.

A aplicação da ACV exige a disponibilidade e qualidade de um grande número de dados. Em alguns casos, a coleta de dados e informações pode ser inviabilizada pela falta de interesse de empresas e setores produtivos e pela confidencialidade das informações relacionadas a determinados insumos e tecnologias. Ou ainda, a preocupação de muitas organizações em despertar a atenção de órgãos ambientais para possíveis irregularidades em seus processos, temendo punições de várias naturezas (SEO e KULAY, 2006).

A grande quantidade de dados também pode ser uma das limitações nos estudos de ACV, pois envolve a manipulação de um grande número de dados, sendo necessário o uso de softwares. Diante dessa dificuldade, os softwares foram desenvolvidos para facilitar a aplicação de ACV ajudando na condução do estudo para torná-lo mais prático e confiável. Os softwares ajudam no gerenciamento dos dados, disponibilizam bancos de dados internacionais, métodos de avaliação de impacto e realizam as etapas de AICV, sendo atualizados periodicamente (SANTOS et al., 2012).

Apesar de todos esses pontos relatados acima a ACV é valiosa por causa da sua abordagem única do berço ao túmulo.

## **1.4 Avaliação do Ciclo de Vida Energético- ACVE**

### 1.4.1 Histórico

No início dos anos 70, o interesse em consumo de energia aumentou fortemente, em consequência da elevação dos preços e de uma consciência do crescimento dos impactos negativos do uso da energia no meio ambiente.

Com um custo muito elevado dos insumos energéticos, empresário e governos passaram a dedicar mais atenção para essas avaliações, procurando determinar não só o total de energia despendida em uma atividade específica, como também os pontos críticos de consumo em suas cadeias. A princípio eram levantadas as principais demandas diretas de energia, a indisponibilidade de combustíveis fósseis e seus impactos no ambiente, além das exigências dessa energia em serviços e alguns setores da economia.

A fim de normalizar as análises de energia a IFIAS, sigla do original em inglês para Federação Internacional de Institutos de Estudos Avançados, definiu parâmetros para análises energéticas em um Workshop realizado na Suécia. O grupo reunido nesse evento definiu análise energética como a determinação da energia despendida no processo de obtenção de um bem ou serviço dentro da estrutura definida de convenções ou da aplicação de informações assim obtidas (TAVARES, 2006 Apud WILTING, 1996).

Ainda dentro dos critérios da IFIAS, a análise de energia prescreve não somente um inventário dos insumos energéticos consumidos, mas também examina a natureza dos resultados enquanto subsídio para outras formas de análise (TAVARES, 2006).

Em um segundo Workshop da IFIAS, em 1975, o tema central foi o relacionamento entre a economia e a análise da energia. Desde então, os pesquisadores têm produzido bancos de dados de requisitos energéticos de processos industriais seguindo tais critérios (TAVARES apud BOUSTEAD & HANCOCK, 1979; BRASCAMP, 1983; PROCÉ, 1986; VAN HEIJNINGEN et al., 1992a, 1992b).

Nos primórdios destas análises, entendia-se que a energia despendida em um processo se limitaria ao que fosse consumido para a geração direta de um produto. Entretanto, outras demandas energéticas se faziam perceber, como o transporte de insumos e matérias-primas. Considerando-se os desdobramentos do processo principal, percebeu-se que em vários casos os gastos considerados indiretos seriam iguais ou superiores aos gastos diretos (TAVARES, 2006 apud HERENDEEN, 1975).

#### 1.4.2 Metodologia ACVE

A Avaliação do Ciclo de Vida Energético - ACVE é uma forma simplificada, porém significativa, para a condução de uma análise de impactos ambientais. Baseada na ACV preconizada na norma ISO 14040 esta análise prioriza o inventário de dados de consumo energético, diretos e indiretos. Apesar de não usar o conceito de multianálise, característico das ACVs, uma ACVE dá condições para avaliação de impactos ambientais importantes como a emissão de GEE. Além disso, por ter uma estrutura mais simples do que uma ACV completa, demanda menos custo e tempo em sua execução. Entretanto, a proposta da ACVE não é substituir um método de análise ambiental amplo como uma ACV, mas, preferencialmente, facilitar uma tomada de decisão sobre a eficiência energética e os impactos associados como, por exemplo, a geração de CO<sub>2</sub> (TAVARES, 2006 apud FAY, 2000).

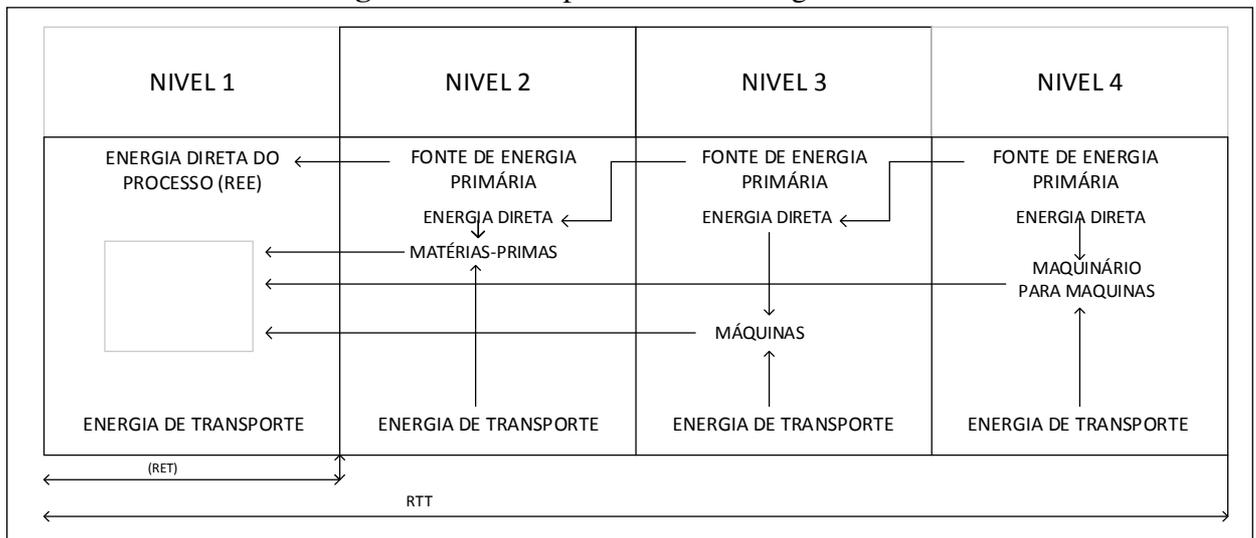
Uma análise energética resgata o total de energia gasto para a produção de um bem ou serviço. A este valor é dado o nome de Requisitos Totais de Energia – RTE, do original em inglês Gross Energy Requirement (GER), expressos em MJ/kg ou unidade de produto. Os

requisitos energéticos em questão são expressos em termos de energia primária, ou seja, da forma como é obtida na natureza, que é discriminada em fontes renováveis e não renováveis.

No cálculo dos RTE são computadas também as conversões de energia primária para secundária, que vem ser a forma de energia disponível para uso. Para estas conversões são definidas razões chamadas pela IFIAS de Requisitos Energéticos de Energia – REE, que expressam as quantidades de energia primária utilizada para conversão em energia secundária em MJ/MJ. Os valores dos REE são sempre maiores ou iguais a 1, neste caso há um rendimento de 100% do sistema. Assim, para a conversão de carvão em coque, por exemplo, o valor da REE na Holanda é de 1,14 MJ/MJ, ou seja, é consumido 1,14 MJ de carvão para gerar 1 MJ de coque. O inverso do valor do REE é a taxa de eficiência energética da conversão (TAVARES, 2006 apud WILTING, 1996).

Na prática, um mesmo produto tem diferentes valores de RTE dependendo do processo de fabricação, local, ano, etc. Assim, o primeiro passo para uma análise energética é a definição do sistema que será analisado. O esquema de níveis proposto pela IFIAS, e suas respectivas inter-relações, é representado na Figura 6 com as atribuições de requisitos energéticos.

**Figura 6 - Níveis para análises energéticas.**



Fonte: Adaptado TAVARES, 2006.

O nível 1 contém os Requisitos de Energia do Processo – REP, geralmente são informados em termos de energia secundária. Seus limites seriam o que a norma ISO

14048/2002 define como etapa “*gate-to-gate*”, ou seja, dentro dos limites da fábrica. É usualmente utilizado pela acessibilidade dos dados, mas pode representar em muitos casos, apenas 50% do total. O nível 2 agrega a energia direta para extração e obtenção das matérias-primas e os requisitos de energia primária da energia direta do primeiro nível. Em conjunto com o nível 1 representa 90% dos RTE analisados no processo.

O nível 3 adiciona os requisitos energéticos para obtenção dos bens de capital, como máquinas, prédios e meios de transporte necessários para o processo. Pode acrescentar até 9% ao total dos RTE. O nível 4 diz respeito aos requisitos energéticos para as máquinas que produziram os bens de capital do terceiro nível. Representa normalmente valores muito pequenos, além de ser dificilmente obtido pela complexidade das fontes que o cercam. Para todos os níveis são consideradas as contribuições da energia dispendida no transporte (TAVARES, 2006 apud BAIRD, 1997; WILTING, 1996).

A definição dos RTE é um dos principais objetivos de uma análise energética. Entretanto, o cálculo preciso dentro das definições colocadas pela IFIAS pode ser de extrema complexidade e, em muitos casos, ter seus resultados questionados por divergências metodológicas (TAVARES, 2006 apud WILTING, 1996).

No sentido de aperfeiçoar, e em muitos casos, viabilizar as análises energéticas, é aceito e difundido o conceito de Energia Embutida – EE, ou seja, o total dos requisitos energéticos nos dois primeiros níveis do esquema da IFIAS, porém sem totalizar as conversões energéticas a partir dos REE. A simplificação da obtenção dos dados e a precisão em torno de 90% do valor preciso dos RTE fazem esta conceituação ser bem utilizadas e em muitos casos até ser igualada aos valores dos RTE (TAVARES, 2006 apud BAIRD; CHAIN, 1983; TRELOAR, 2001).

Em função disso, utilizou-se a terminologia de Energia Embutida – EE para a determinação dos Requisitos de Energia no Sistema de Abastecimento de Água analisados. Na maioria dos casos, os valores de EE são baseados nas análises dos métodos dos processos, que consideram os processos reais responsáveis pela produção do material a partir da extração de matéria-prima até o produto final. No caso nos quais os dados das matérias-primas estão indisponíveis (como por exemplo, os dados dos produtos químicos).

A definição, e eventual comparação, do consumo energético nas principais etapas do ciclo de vida de um sistema, indicam potenciais de eficiência energética e consequentes estratégias de conservação. Assim uma ACVE pode ser usada com propósitos variados como comparar o consumo de energia de sistemas com tratamentos diversos, ou demonstrar os benefícios de um recurso de projeto para otimizar a energia operacional.

### **1.5 Aplicações ACV no setor da água**

O uso da ACV surgiu como uma ferramenta para promover o desenvolvimento sustentável e aumentar a consciência ambiental. É um método bem estabelecido e padronizado, projetado para estimar e reduzir os encargos ambientais associados a todas as fases de vida de um produto, processo ou serviço, iniciando com a extração de matérias-primas, através da fabricação, uso e reciclagem ou disposição final. Esta abordagem "do berço ao túmulo" permite a identificação dos principais impactos ambientais relacionados com as entradas do sistema e saídas, comunica quaisquer perigos e destaca possibilidades de melhorias (RACOVICIANU et al., 2007 apud USEPA 1993).

Tanto o comércio quanto a indústria começaram a reconhecer a utilidade da ACV como um método para reduzir o uso dos recursos naturais e energia, minimizando a poluição, o desperdício e as despesas financeiras. Tradicionalmente ACV foi aplicada a produtos de consumo e serviços, no entanto, o seu campo de aplicação se expandiu para incluir a infraestrutura.

Neste contexto, a ACV tem demonstrado versatilidade como um método de tomada de decisão na indústria, comparando tecnologias, Cenários e identificando oportunidades de melhoria. O primeiro estudo brasileiro em ACV foi realizado pelo Centro de Tecnologia de Embalagens (CETEA) e o Instituto Técnico de Alimentação (ITAL) que desenvolveram um estudo denominado Análise de Ciclo de Vida de Embalagens, de 1997 a 1999, com o objetivo de avaliar 20 sistemas de embalagens no mercado nacional brasileiro, considerando condições e níveis de tecnologia, contudo os dados desse trabalho não foram divulgados para a comunidade (LIMA, 2007).

Atualmente no Brasil possui dissertações sobre ACV na área: energia elétrica, plásticos, software disponíveis no mercado, na saúde pública, comparativo de custos entre

pavimento de concreto e cimento (Portland), comparação de processos de produção de blocos cerâmicos, de concreto de alvenaria e etc. Há também trabalhos produzidos na área de produção agrícola, ACV em políticas públicas, área automotiva, produtos veterinários, latas de alumínio, garrafas PET, do álcool etílico hidratado, combustível dentre outros.

Estão sendo desenvolvidos estudos em ACV por alguns setores empresariais de segmentos como: siderurgia, energia, tubos, celulose, petroquímica, aço, alimentícia, química, embalagens cartonadas e máquinas de envase.

No setor de água e esgoto a ACV foi empregada inicialmente na Europa (Reino Unido, Países Baixos, Suécia, Suíça), na África do Sul, México e Países do Sudoeste da Ásia a partir de 1990 com o objetivo de avaliar os encargos ambientais, devido extração, tratamento, distribuição, coleta e disposição final da água em um contexto urbano (FRIEDRICH, 2001).

ACV pode ser aplicada para análise da eficiência energética e ambiental no setor de água e esgoto nos seguintes casos: comparação de diferentes tecnologias de tratamento; para determinar os pontos fracos do sistema de tratamento e distribuição de água potável; comparar o sistema de distribuição de água com o uso de alternativas de aproveitamento de água; comparação de diferentes tecnologias para o tratamento de águas residuais; e a avaliação da disposição final do lodo e reuso.

Dos trabalhos publicados avaliando os sistemas de abastecimento de água e de tratamento de esgoto, a maioria é aplicada ACV comparativa que avaliam o desempenho ambiental das novas tecnologias de tratamento de água potável e a tecnologia de tratamento de águas residuais mais rentáveis. Há diversos estudos em ACV no tratamento de águas residuais devido à oportunidade de recuperação de energia.

Os principais potenciais impactos ambientais avaliados no setor da água e esgoto, na literatura utilizando ACV são: o esgotamento dos recursos naturais e de liberação indireta de poluentes na água, terra e no ar por meio de produtos químicos e de consumo de energia. Além disso, dependendo do processo de conversão de energia, sua combustão gera emissões de CO<sub>2</sub>, levando assim potenciais impactos elevados sobre as alterações climáticas.

No Brasil, o trabalho que se destaca no setor de água e esgoto utilizando a ACV é o estudo de Machado (2003), na cidade de Bolonha, Pará, que propôs três alternativas para os resíduos produzidos na Estação de Tratamento de Água: o desaguamento do lodo, disposição final do lodo em aterro e aproveitamento agrícola. Os resultados deste estudo demonstraram que o menor consumo energético e potencial impacto para as categorias de aquecimento global e acidificação foram para o lodo utilizado para aproveitamento agrícola.

#### 1.5.1 Resultados obtidos em ACV e ACVE no Setor de Água e Esgoto

É essencial que exista um método rigoroso de decidir quais os elementos ou processos, de um sistema são incluídos numa análise de ACV de tal modo que se obtenha "razoável" comparação entre os resultados dos sistemas. Os padrões de ACV ISO 14040 (2009) reconhecem isso ao afirmar, "em estudos comparativos, a equivalência dos sistemas a serem comparados deve ser avaliada antes de interpretar os resultados".

A ACV é utilizada em alguns estudos comparativos avaliando os maiores impactos decorrentes da tecnologia de tratamento da água. Alguns estudos relatam o tratamento convencional comparado com o tratamento de filtração por membranas (osmose reversa, nanofiltração e ultrafiltração) não apresenta diferença significativa nos impactos e, o impacto maior é atribuível ao consumo de energia (FRIEDRICH e BUCKLEY, 2002; MOHAPATRA et al., 2002; SOMBEKKE et al., 1997). Ressaltando que a fonte de água destes estudos foram águas do rio e subterrâneas.

Já no estudo comparativo entre o método convencional e o método de filtração de membrana (nanofiltração) realizado por Bonton et al. (2012), para a fonte de água do lago, na cidade de Quebec - Canadá, concluiu-se que o impacto do sistema convencional foi 12 vezes maior do que a nanofiltração para as categorias de impacto saúde humana, mudança de clima e esgotamento de recursos; e mais de 5400 vezes maior para a categoria qualidade do ecossistema. Sendo que o tratamento convencional analisado foi adicionado um pós-tratamento com um carvão ativado granular, a fim de proporcionar a mesma qualidade de água distribuída. Portanto, os maiores danos do sistema convencional foram devido ao pós-tratamento, pois este esgota os recursos de carvão e liberam poluentes no ar durante a ativação do forno.

De acordo com os estudos de Stokes e Horvath (2005) e CEC (2005) realizados na Califórnia, dentre as alternativas de tecnologia de tratamento de água utilizadas a dessalinização causou mais emissões do que importação e a reciclagem de água, devido principalmente à intensidade energética do processo de tratamento.

Vale ressaltar que o tratamento de água e esgoto englobam processos altamente intensivos no uso de energia e o acesso limitado dos recursos hídricos pode aumentar significativamente o uso de energia para o tratamento e a distribuição, principalmente quando a dessalinização é utilizada como tratamento. Um estudo realizado por Shrestha et al. (2011), no Estado da Nevada (EUA), compararam o consumo de energia na etapa de tratamento (dessalinização) com a etapa distribuição de água e os resultados demonstraram que a energia para tratamento (0,53 milhões MWh/ano) é 96% superior em comparação com a distribuição de água (0,27 milhões MWh/ano). O estudo de Uche et al. (2014), Sudeste da Espanha, confirmam esses resultados, mas observa-se que a distribuição de água também causam impactos significativos quando são entregues pequenos volumes de água.

O Quadro 1 demonstra a avaliação de alguns estudos da aplicação da ACV em sistemas de abastecimento de água e esgoto nas etapas de captação, tratamento convencional, distribuição de água potável, coleta, tratamento de resíduos e disposição final. Contudo não é possível uma comparação detalhada desses estudos, uma vez que possuem estruturas e metodologias diferentes. Além disso, a quantidade de energia requerida nesses processos depende da quantidade de bombeamento, altura manométrica e a qualidade de água que entram nos efluentes.



**Quadro 1-** Resumos de artigos publicados aplicando ACV no setor de água e esgoto.

Referência/Local	Objetivo	Escopo	Software/ Método	Resultados
Tarantini e Ferri (2001) / Bolonha	Avaliar o impacto do sistema de água (produção e distribuição) e esgoto.	UF: 65,7 m <sup>3</sup> /ano. Limites: tratamento e distribuição de água potável, tratamento de águas residuais. Inclui produtos químicos, transporte dos produtos e energia elétrica. Fonte: Água superficial e cinco poços.	TEAM 3.0/CML 92, CST 95	A energia elétrica utilizada para o bombeamento foi responsável pelo maior impacto ambiental. A produção dos produtos químicos representaram 10% dos impactos. O Transporte é insignificante na quantidade de uso total de energia.
Lundie et al.(2004)/ Austrália	Avaliar os impactos ambientais do sistema de tratamento de água e esgoto prospectivo para o ano de 2021.	UF:622 Gl/ano. Fonte de água: rio.	Gabi	O maior impacto é atribuível ao consumo de energia. Os produtos químicos contribuem com 12 %.
Barrios et al. (2008)/ Holanda	Avaliar o impacto ambiental e financeiro da etapa do tratamento convencional.	UF: 1m <sup>3</sup> . Limites: Operação e tratamento (coagulação, armazenamento, bombeamento, filtração rápida, ozonização, amolecimento, carvão ativado, filtração lenta e armazenamento). Fonte de água: canal.	SimaPro® 5.1/ Eco Indicador 99	Maior impacto de consumo de energia é para adição de produtos químicos na coagulação (Sulfato de ferro) e a filtração biológica por carvão ativado.
Landu e Brent (2006)/ África do Sul –Rosslyn	Avaliar o ciclo de vida ambiental de sistemas de abastecimento de água potável para uso industrial.	UF: 1 Ml/dia Fonte: rio.	Gabi	A extração da água foi o impacto mais importante que foram atribuíveis ao consumo de energia.

Vince et al. (2007)/ França	Avaliação energética do sistema de abastecimento (captação, tratamento e distribuição) e avaliação das etapas do tratamento.	UF: 1 m <sup>3</sup> (água para beber com qualidade especificada pelas normas europeias). Fonte de água: água subterrânea/mar/água superficial. Limites: construção e operação.	Gabi 4.2/MPACTO 2002+	Resultados etapa de tratamento: maiores impactos para as etapas de coagulação e remineralização devido à produção de eletricidade. Resultados do sistema completo: a produção de coagulante (30%), a produção de eletricidade para a operação (25%) e os produtos químicos para produção remineralização (20%).
Racoviceanu et al. (2007)/ Toronto	Avaliar as emissões de gases de efeito estufa de três estações de tratamento de água.	UF: 1m <sup>3</sup> Limites: operação. Incluem a produção e transporte dos produtos químicos.	EIO/Ghgenius/ ipcc1997	A operação foi o principal contribuinte para o uso de energia global e as emissões de GEE, respondendo por 94% do consumo total de energia e 90% dos gases de efeito estufa.
Friedrich et al. (2008)/Durban (África do Sul)	Avaliar o perfil ambiental no setor da água e esgoto.	UF: 1m <sup>3</sup> . Limites: tratamento de água, distribuição, coleta, tratamento de esgoto e reciclagem de água.	Gabi 3/CML/ categoria de impacto: aquecimento global	A estação de tratamento de esgotos teve maior impacto devido às suas necessidades de energia.
Mahgoub et al. (2010)/ Egito	Avaliar impactos ambientais do sistema de tratamento, distribuição de água e tratamento de águas residuais.	UF: 1 m <sup>3</sup> . Fonte de água: rio.	Sima Pro/ Eco indicador 99	Os resultados mostraram que o maior impacto foi gerado pela descarga de águas residuais tratadas primárias (68% do impacto total) e pela alta energia consumida nas estações de tratamento de água (18% do impacto total).
Sharrai (2010)/ Malásia	Avaliar o impacto ambiental no setor de água.	UF: 1 m <sup>3</sup> Fonte de água: rio. Limites: construção e operação	Eco indicador 99	A fase de produção teve maior impacto. O coagulante usado no processo de tratamento causou danos à saúde humana e a qualidade do ecossistema.
Mohamed Zine et al. (2013)/ Boumerdes (Argélia)	Avaliar o impacto ambiental da etapa de tratamento de água potável.	UF: 1 L Limites: operação.	Simapro <sup>6</sup> / Eco indicador 99	O coagulante é responsável por 30% dos impactos devido à produção de eletricidade.
Lemos et al. (2013)/Aveiro	Avaliar os impactos do sistema de água urbano.	UF: 1 m <sup>3</sup> Limites: a captação, tratamento, distribuição de água, coleta	Recipe 2008	A captação e o tratamento foram às etapas mais relevantes para o

(Portugal)	e tratamento de esgoto e disposição final.	maioria das categorias de impacto, devido ao alto consumo de energia.
------------	--	---

Fonte: Elaborado pela autora.

ACV têm sido usada para investigar os processos relacionados com a água desde 1995 (EMMERSON et al., 1995) e a partir daí uma série estudos em ACV foram produzidos abrangendo muitos aspectos do setor da água (BUCKLEY et al., 2011).

Tarantini e Ferri (2001), Lundie et al. (2004), Friedrich et al. (2008) e Mahgoub et al. (2010) avaliaram o setor de água e esgoto com diferentes métodos de ACV e concluíram que o sistema de tratamento de esgotos teve maiores impactos comparados com o sistema de tratamento de água devido as suas maiores necessidades energéticas e impactos decorrentes da descarga de águas residuais.

Alguns estudos (FRIEDRICH et al., 2008; VINCE et al., 2007; FRIEDRICH e BUCKLEY, 2002; RACOVICEANU et al., 2007; SHARAAI et al., 2010) afirmaram que a fase de operação dos sistemas de abastecimento de água e de esgoto tiveram p maior impacto, desconsiderando e classificando nos seus estudos a fase de construção e fim de vida como insignificantes. Segundo Lundie et al. (2004), a fase de construção gera 4% dos impactos sobre mudança climática, portanto a fase operacional foi considerada a mais significativa. De acordo com Raluy et al. (2006), quando se analisa a transferência de água de uma bacia com grandes distâncias, a fase de construção causa um impacto significativo.

Alguns autores citados no Quadro 1 destacaram a importância de avaliar os potenciais impactos do sistema urbano de abastecimento de água em cada etapa: captação, tratamento, distribuição, consumo, coleta e tratamento de águas residuais.

Portanto, para os estudos de (TARANTINI e FERRI, 2001; RACOVICEANU et al, 2007) dentre as etapas do setor de água analisadas, a captação foi a responsável pelo maior impacto ambiental, devido ao bombeamento comparado com os impactos das substâncias químicas utilizadas na etapa do tratamento. Os impactos decorrentes dos transportes dos insumos nestes estudos foram insignificantes.

Os estudos de (BARRIOS et al., 2008; ZINE, 2013; VINCE et al., 2007) avaliaram cada etapas na fase de tratamento de água em busca de soluções potenciais para tecnologias com menores demandas energéticas. Estes estudos concluíram que as etapas responsáveis pelos maiores cargas ambientais são a coagulação e a remineralização devido aos encargos

energéticos e emissões gasosas que são requeridas para a produção dos insumos. Contudo, verificou-se nestes estudos que o desempenho ambiental das etapas de tratamento, na sua maioria, depende do contexto local, da qualidade da água bruta, dos padrões de potabilidade e das tecnologias dos tratamentos.

O tipo de água captada é outro ponto importante que merece destaque nos estudos de ACV dos sistemas de abastecimento. Goldstein e W. Smith (2002) afirmaram que, nos EUA, o consumo de energia elétrica para a captação de águas subterrâneas requer cerca de 30% mais energia do que para a captação de água de superfície, embora a energia para bombear as águas subterrâneas dependa da profundidade do aquífero.

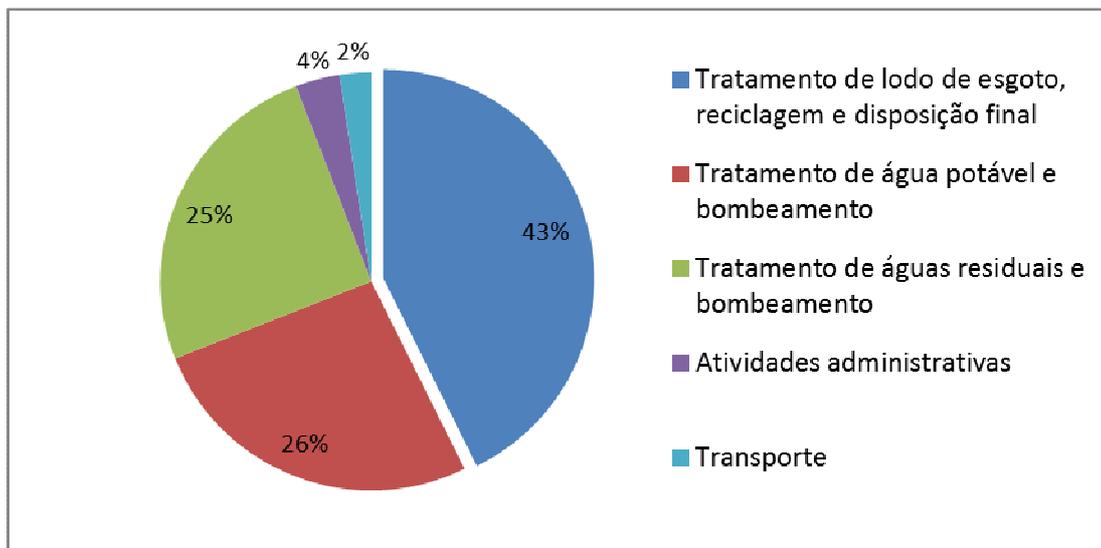
Os resultados destes estudos são importantes, pois, além de quantificar e identificar a fase de potenciais impactos ambientais do setor de água e esgoto pode proporcionar aos gestores condições de programação das medidas de eficiência energética com o objetivo de estimar as reduções dos impactos. Por exemplo, os estudos de Barrios et al. (2008), avaliaram o impacto ambiental e econômico de dois sistemas de abastecimento de água potável existente na Holanda, utilizando o SimaPro<sup>®</sup> 5.1 e o método Eco indicador 99, com o intuito de propor alternativas para reduzir os impactos ambientais. Os resultados destes estudos demonstraram que o potencial impacto ambiental pode ser reduzido em até 33% usando sulfato ferroso como coagulante e hidróxido de sódio produzido com energia verde.

Além desses estudos, outros focaram sobre a avaliação ambiental do ciclo urbano da água (LEMOS et al., 2013), especialmente em locais com pouco stress hídrico como área do Mediterrâneo (AMORES et al., 2013). Hospido et al. (2013) alertou para as dificuldades de acrescentar o impacto do uso da água na ACV, uma vez que apresenta distribuição geográfica irregular e diversas funções dos ecossistemas.

Alguns estudos se destacaram na avaliação da demanda energética e emissões de GEE no setor da água como, por exemplo, o *Carbon Footprint Report - 2007-2008*, realizado na Escócia que indicou que o processo de tratamento de esgoto, reciclagem e disposição final geraram mais de 43% de emissões de GEE. Ainda identificaram o consumo de energia elétrica como a maior fonte de emissões GEE (67%). Nas etapas avaliadas as emissões no tratamento, reciclagem e eliminação de lodo de esgoto foram a maior fonte das

emissões (43%). O tratamento e bombeamento de água potável foram responsáveis por 26% das emissões, o tratamento de águas residuais por 25% e as emissões de atividades administrativas e de transporte foram de 2% e 3%, respectivamente.

**Figura 7** – As emissões de gases de efeito estufa no setor de água e esgoto na Escócia.



Fonte: Adaptado do Carbon Footprint Report, 2007 – 2008.

Vale ressaltar que as pontuações de impactos ambientais dos sistemas de abastecimento de água são relativamente baixas quando comparados com os de outros sistemas, tais como transporte, produção de energia, etc., sendo que 0,93 kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$  / kℓ de água fornecida aos consumidores (calculado no município de eThekweni, 2008) e assumindo um consumo de 50 ℓ de água/pessoa dia, resulta em 17 kg de  $\text{CO}_2$  eq/pessoa ano devido ao abastecimento de água e de tratamento águas residuais (BUCKLEY et al., 2011).

Alguns estudos destacaram a importância de emissão de GEE provenientes do uso de energia no setor da água. Por exemplo, no Reino Unido, o setor da água emite cerca de 41 milhões de toneladas de  $\text{CO}_2$ /ano (ROTHAUSEN; CONWAY, 2011). No Canadá, uma avaliação na cidade de Toronto indicou um consumo de energia de 2,5  $\text{MJ}/\text{m}^3$  e uma emissão de 128,13g  $\text{CO}_2$  eq/ $\text{m}^3$  ano relacionados aos encargos operacionais do sistema de abastecimento de água (RACOVICIANU et al, 2007).

Na Califórnia, em 2005, o uso de energia relacionado com a água foi de aproximadamente 520 milhões de MWh/ano, equivalente a 13% do consumo de energia

elétrica, 70% para o aquecimento de água, 14% de tratamento de esgoto e apenas 5% para o bombeamento da água para irrigação. Enquanto esta parece ser uma estimativa conservadora do uso de energia relacionado com a água, os resultados deste estudo indicaram que a pegada de carbono associado à distribuição, tratamento e aquecimento de água foi de 290 milhões de toneladas por ano (GRIFFITHS-SATTENSPIEL; WILSON, 2009).

O abastecimento e tratamento de água foram responsáveis por 1,4% do total do consumo de eletricidade no Japão em 2008 (MLIT, 2011). Na China, onde a agricultura é responsável por 62% das retiradas de água, o bombeamento de água subterrânea para irrigação foi responsável por 0,6% das emissões de GEE em 2006, uma pequena fração da quota de 17 a 20% da agricultura como um todo (WANG et al., 2012). No Reino Unido, o setor da água emitiu cerca de 41 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq por ano entre 2005 e 2006<sup>15</sup>. Inclusive, 70-90% do uso de energia foi relacionado à captação da água potável. Já o aquecimento de água doméstica foi responsável por 5,5% das emissões de GEE total, enquanto que, o resto da água potável decorrente de tratamento de águas residuais correspondeu a 0,8%, sendo este processo dominante. Este estudo não incluiu o uso de energia direta para a água usada na agricultura e os setores industriais, pois utilizam 35,5% mais água do que o setor de água potável (ROTHAUSEN; CONWAY, 2011).

Diversos estudos estão sendo publicados relatando a intensidade energética e a emissão de CO<sub>2</sub> no setor da água baseado na ACV o que vêm contribuindo para sistemas sustentáveis de tratamento de água e esgoto em alguns países. Estas análises quantificam encargos e destacam oportunidades de melhoria além de permitir o uso eficiente de energia e avanços tecnológicos nesses sistemas. Assim, a ACV se apresenta como um método valioso e versátil para o setor da água, possibilitando o aumento da eficiência dos processos de água existentes e/ou sistemas, mas também como um método 'comparativo' para a tomada de decisão direta para futuros desenvolvimentos e tecnologias relacionadas com a água (BUCKLEY et al., 2011).

---

<sup>15</sup> Department for Environment, Food and Rural Affairs - DEFRA (Ministério de Ciências e T, entre 2005 e 2006,

## CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA

### 2.1 Descrição do sistema e Cenários propostos

O SIAA-FSA é suprido por um manancial de superfície, o Rio Paraguaçu – Lago de Pedra do Cavalo, situado no município de Conceição da Feira, Estado da Bahia, com as coordenadas geográficas 12°30'23"S e 38°59'48"O. O SIAA-FSA é do tipo convencional, composto de captação em manancial superficial, elevatória e adutora de água bruta, tratamento, elevatória de água tratada, reserva e distribuição. O sistema requer a transposição da Serra da Putuma, o que é realizado em duas etapas: a primeira do Lago até a ETA e a segunda da ETA ao topo da Serra a partir de onde a água é distribuída por gravidade, totalizando um desnível geométrico de cerca de 200m.

A captação da água do manancial é realizada através de recalque por dois conjuntos de motor-bomba com potências individuais de 600 CV e vazão de 270 L/s e três conjuntos motor-bomba com potência de 1.100 CV e vazão de 540 L/s com capacidade total de 1.700 L/s, que bombeia água bruta para a Estação de Tratamento Água (ETA) onde se realiza o tratamento através de um processo convencional (floculação, decantação, filtração e desinfecção).

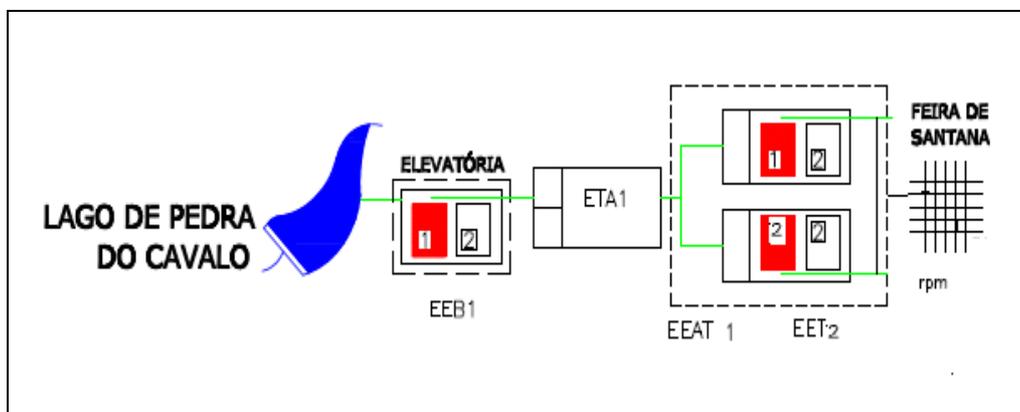
A desinfecção da água filtrada é realizada com o cloro gasoso por um processo de pressurização da água. A água tratada é adicionada o ácido fluossilícico líquido através de duas bombas dosadoras e cal no final do processo.

A água é conduzida da ETA para duas Estações Elevatórias de Água Tratada. A Estação Elevatória Água Tratada I (EEATI) está equipada com três conjuntos motor/bomba com potência de 1.350 CV, vazão 513,3 L/s e altura manométrica de 103,3 mca (metros de coluna d'água). A Estação Elevatória Água Tratada II (EEATII) possui 4 conjuntos de 750 CV, vazão de 300 L/s e altura manométrica de 120 mca. A água é bombeada para um reservatório apoiado, do qual segue para 23 unidades setoriais de distribuição situadas em regiões estratégicas para abastecer as cidades de Conceição de Feira, Feira de Santana, Santa

Bárbara, São Gonçalo dos Campos, Santanópolis e Tanquinho. A extensão total da rede de distribuição de água tratada é 2.175 km.

No ano de 2013, a captação total de água foi de 42.875.953 m<sup>3</sup>, das quais foram consumidas 21.440.780 m<sup>3</sup>. O sistema funciona 20h/dia. O sistema não opera no horário de pico, entre 17:00 h e 21:00 h, devido ao custo da energia nesse período ser mais elevado. A Figura 8 apresenta o croqui do sistema de abastecimento de água de Feira de Santana.

**Figura 8** – Croqui do SIAA-FSA.



Fonte: Elaborado pela Autora.

Foram propostos cinco Cenários para comparação com o Cenário atual, com o objetivo de propor redução dos impactos ambientais do SIAA-FSA.

O Cenário 1 corresponde às condições atuais do sistema estudado que possui um índice de perda de água no sistema produtor de 9,7% e no sistema distribuidor de 44%. O Cenário 2 manteve-se a perda atual do sistema produtor e admitiu-se uma redução das perdas de água no sistema distribuidor para 20%, de acordo a meta do Plano Estadual de Recursos Hídricos para o ano de 2020. O Cenário 3 admitiu-se uma redução das perdas de água no sistema produtor para 3% e no sistema distribuidor para 20%. O Cenário 4 considerou o Cenário 3 com uma redução adicional de 30% no consumo de água potável distribuída.

Foram propostos dois novos Cenários com os mesmos objetivos dos Cenários 3 e 4, contudo sem reduções adicionais. Ou seja, o Cenário 3.1 admitiu-se apenas uma redução de

perdas de água de 3% no sistema produtor e o Cenário 4.1 admitiu-se apenas uma redução de 30% no consumo de água.

## **2.2 Estrutura metodológica da ACVE**

A técnica de avaliação ambiental aplicada neste estudo foi a ACV, baseada na NBR ISO 14040 (2009a) e NBR ISO 14044 (2009b).

Este estudo avaliou a eficiência energética do sistema de abastecimento de água de Feira de Santana, através da aplicação da metodologia da ACVE. Seguiram-se as etapas metodológicas detalhadas da ACV.

A ACVE consistiu em uma análise da energia direta das fases de operação do sistema de abastecimento de água, com a finalidade de identificar a etapa (captação, tratamento e distribuição) no sistema com o maior consumo de energia.

Para cada etapa do ciclo de vida de sistema de abastecimento de água pode-se calcular uma intensidade energética específica. Nesse caso, a “Intensidade energética” ou energia incorporada é definida com a quantidade de energia consumida por unidade de água relacionada aos processos de: captação, tratamento e distribuição. Ou seja, o número de quilowatt-horas consumido por metro cúbico de água entregue aos consumidores (kWh/m<sup>3</sup>).

A parte principal do processo da ACVE neste estudo consistiu no inventário, onde foram quantificadas as principais entradas de fluxo de energia, e conduzido uma avaliação de impacto para a conversão de consumo de energia em emissões de CO<sub>2</sub>.

Todos os valores de energia apresentados no estudo foram expressos em termos de energia primária ou utilização final tal como esta é a prática comum na análise de produtos de acordo com ACV para Sartori e Hestnes (2007), usando a unidade comum de kWh (3,6 MJ), a fim de permitir comparações. A utilização final de energia é a energia medida ao nível de utilização final, também chamada como energia entregue. Portanto, a energia primária é a energia usada para produzir a energia consumida, incluindo a extração, transformação, distribuição e perdas.

O fator de conversão para a energia primária da energia elétrica utilizado neste estudo foi de 1,6 kWh/kWh. Esse fator foi apontado pelo estudo de Coltro et al. (2003), o primeiro modelo experimental para expressar a demanda de energia da geração e distribuição no Brasil em termos de ACV, para o ano de 2000.

Os dados de todas as entradas e saídas do sistema no estudo Coltro et al., 2003, foram inventariados como: a geração de energia elétrica bruta, a capacidade nominal instalada, a área inundada, perdas, emissões para o ar/água, resíduos do processo, combustível utilizado, eficiência e uso da terra. Os dados locais de eletricidade foram fornecidos pelas diversas regiões por um sistema interligado composto por 418 empresas elétricas, constituídas por 389 usinas hidráulicas e 29 centrais térmicas. A unidade funcional foi de 1.000 MJ (278 kWh) de eletricidade distribuída para usuários de eletricidade. Os resultados demonstraram que a produção e distribuição de 1.000 MJ de eletricidade pelo sistema interligado no Brasil requerem aproximadamente 1.600 MJ.

O modelo aplicado foi a ACV Atribucional, uma vez que o sistema avaliado pode ser observado/medido e liga os processos individuais dentro da tecnosfera ao longo do fluxo de matéria, energia e serviços.

A partir da apropriação do objeto de estudo e do conhecimento dos temas, estabeleceu-se a fase de objetivo e escopo da ACV, com a definição da aplicação pretendida, da função do sistema, da unidade funcional, da fronteira do sistema, dentre outros atributos.

A escolha da ACVE justifica-se, pois o uso de energia contribui para o esgotamento de recursos e a degradação ambiental, conseqüentemente, os diversos setores têm procurado reduzir a energia utilizada na fabricação de produtos ou prestação de serviços neste caso, o setor da água.

Além disso, o estudo de inventários do uso de energia reduzem os esforços na coleta de dados necessários para um ICV completo. A racionalização da ACVE na análise de inventário contorna vários problemas metodológicos, como a avaliação complexa e incerta associada ao impacto e a análise de melhoria.

### 2.2.1 Objetivo da ACV

Avaliar os potenciais impactos ambientais associados ao ciclo de vida do berço ao portão do SIAA-FSA.

### 2.2.2 Escopo da ACV

#### 2.2.2.1 Sistema estudado

O sistema estudado foi o SIAA-FSA, com captação e tratamento localizado no município de Conceição de Feira e distribuição em áreas urbanas e rurais nos municípios de Conceição de Feira, Feira de Santana, São Gonçalo dos Campos, Tanquinho, Santa Bárbara e Santanópolis.

#### 2.2.2.2 Unidade Funcional

A unidade funcional adotada foi 1 m<sup>3</sup> de água entregue na porta do consumidor.

#### 2.2.2.3 Fronteira do sistema

Foram avaliados os encargos energéticos decorrentes da fase de operação. As fases de construção e fim de vida foram excluídas, pois não existem informações disponíveis sobre os materiais, energia, emissões e resíduos produzidos na construção e fim de vida desse sistema. Além disso, o impacto ambiental decorrente dessas etapas de acordo a literatura consultada é menor que 5% (RALUY et al., 2006; FRIEDRICH et al., 2008; LUNDIE et al., 2004; VINCE et al., 2007, BUCKLEY *et al.*, 2011; RACOVICIANU et al., 2007; SHARAAI et al., 2010).

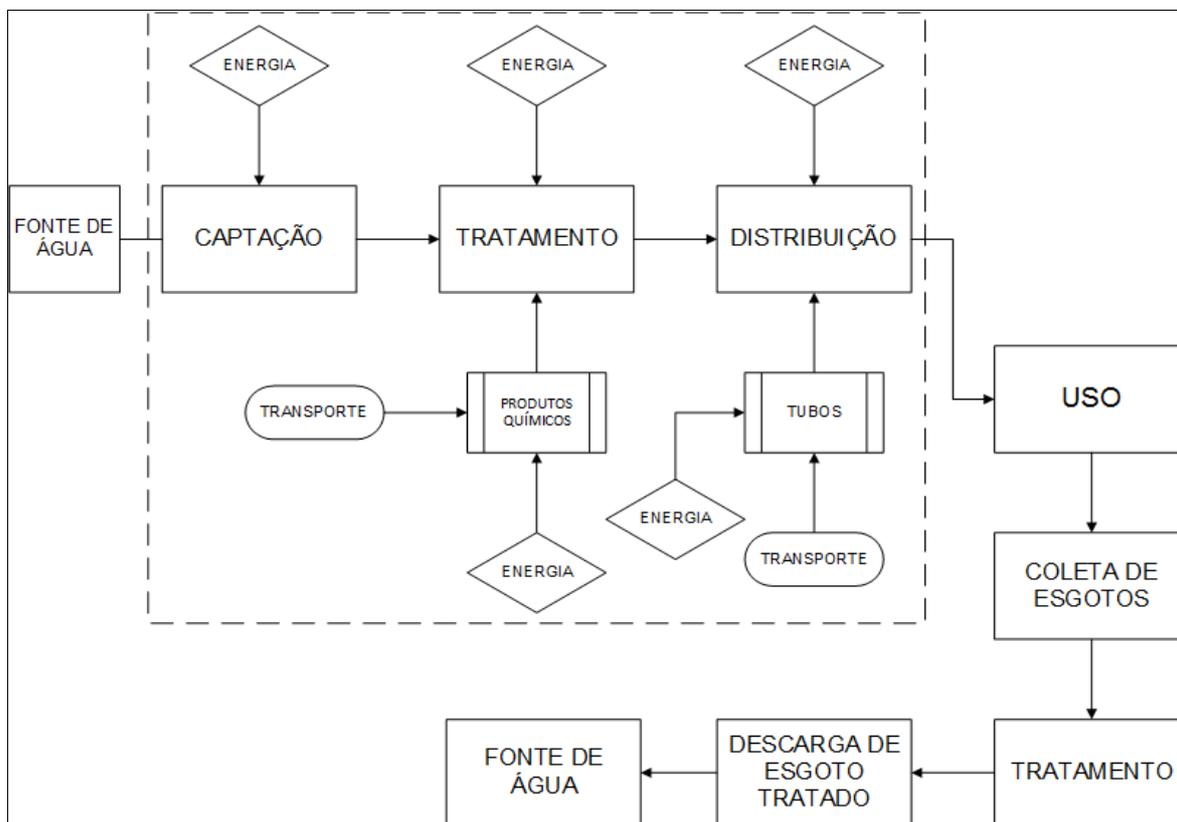
De acordo com Racoviceanu et al. (2007), a utilização energética e as emissões de GEE que ocorrem durante a construção e demolição pode ser considerado um impulso de consumo/emissões ocorrendo ao longo de um prazo relativamente curto para a duração total da instalação. Conseqüentemente, há menos oportunidades para reduzir o uso de energia e a emissão desses gases a partir da construção/demolição em relação à fase de operação.

Foram excluídas também as etapas de uso, coleta, tratamento de águas residuais e a administração devido à demanda de tempo para a coleta de dados.

A fronteira do sistema foi delimitada pela captação da água bruta até a distribuição de água na porta do consumidor que incluem os seguintes aspectos: consumo de energia elétrica, utilização de produtos químicos, tubos substituídos e transporte conforme a Figura 9.

Foi considerada a substituição dos tubos utilizados na rede de distribuição de água devido ao fato do material de fabricação desses tubos possuem grandes encargos energéticos. Além disso, os estudo de Filion et al. (2004) e Amores et al.(2013) consideraram que os tubos tem um valor relevante sobre os impactos dos sistemas urbanos de água.

**Figura 9** – Fluxograma da fronteira do SAA estudado.



Fonte: Elaborado pela Autora.

### 2.2.3 Metodologia da Avaliação do Impacto Ciclo de Vida (AICV)

Existem vários métodos para a seleção, classificação e caracterização das emissões e dos impactos ambientais, cabendo ao pesquisador identificar o método que melhor

represente a realidade da pesquisa. Neste estudo selecionou-se o método do IPCC (2007) 100 anos. Esse método possui uma abordagem *Midpoint*.

O IPCC (2007) - GWP é um método desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. É um dos métodos mais utilizados na AICV para caracterizar as emissões gasosas com base em seu potencial de aquecimento global (GWP), bem como a agregação de diferentes emissões para a categoria de potencial impacto e as alterações climáticas. Os valores da caracterização das emissões de gases são normalizados baseados em potenciais de aquecimento global publicados pelo IPCC, mas também dentro de outros métodos de avaliação de impacto, como Ecoindicador 99 (FRISCHKNECHT, 2007). Atualmente, os fatores de caracterização utilizados são do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC.

Alguns fatores devem ser levados em consideração sobre a caracterização do IPCC para o GWP, pois não incluem a formação indireta de emissões de monóxido de nitrogênio; não contabilizam o forçamento radiativo (perturbação do balanço da energia incidente e da energia emergente do planeta) devido às emissões de NO<sub>x</sub>, água, sulfato, etc.; não consideram a gama de efeitos indiretos dadas pelo IPCC; como também não incluem a normalização e ponderação; não considera o CO<sub>2</sub> biogênico (EUROPEAN COMMISSION, 2010a).

O IPCC -2007 relaciona os fatores de mudança climática com um prazo de 20, 100 e 500 anos. A perspectiva de 500 anos é considerada longa para avaliar a maioria dos danos causados pelas substâncias com os tempos de fixação na atmosfera por muito tempo, enquanto os prazos de 100 e 20 anos capturam parcialmente o impacto de substâncias com uma vida útil longa. O período de 100 anos é a base utilizada pelo Protocolo de Kyoto, por isso tem uma ampla aceitação e é mais recomendado (FRISCHKNECHT, 2007).

Este método foi embasado a partir do banco de dados *Ecoinvent V 3.0* e foi ampliado com outros fatores de caracterização para as emissões disponíveis na literatura

O CO<sub>2</sub> embutido para a energia elétrica foi calculado a partir da discriminação dos consumos energéticos em fontes primárias e respectivos fatores de geração de CO<sub>2</sub>.

Os cálculos dos valores de energia primária para as emissões de CO<sub>2</sub> foi realizada através da aplicação de um fator de emissão de 184 g CO<sub>2</sub>eq / kWh, apontado pelo estudo de Coltro et al. (2003).

Esse fator foi escolhido, pois corresponde a matriz de eletricidade em que 92% da geração provém de hidroeletricidade, energia eólica e nuclear, baseado em dados brasileiros. Ambos os fatores consideram as usinas em operação, ou seja, as usinas que geraram energia em um determinado ano e que estão inseridas no Sistema Interligado Nacional. Sendo assim, mesmo não considerando a matriz na sua totalidade, o fator de emissão calculado corresponde a 84% da capacidade instalada do país e inclui as tecnologias de geração disponíveis.

#### 2.2.3.1 Tipo e fonte de dados

Os dados coletados para o estudo foram obtidos a partir de dados do ano de 2013 do SIAA-FSA.

As informações do modelo, da potência e vazão dos conjuntos motor/bomba da EEAB, EEAT I e II estão disponíveis no (Apêndice A; Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3). Estes dados foram coletados durante as visitas técnicas, obtidos nos relatórios e nos catálogos de fabricantes dos equipamentos disponíveis na Unidade de Tratamento de Água (Conceição de Feira - Ba).

Os dados mensais do volume de água (captado, tratado e distribuído) foram obtidos nos relatórios do Controle Operacional de Água e Esgoto (COPAE) disponibilizados pela Empresa Baiana de Saneamento (EMBASA) e estão dispostos no (Apêndice B; Tabela 4). Para o volume de água distribuído foi considerado o volume micromedido e o estimado.

As quantidades de produtos químicos utilizados na etapa de tratamento foram coletadas nas planilhas obtidas no local de funcionamento do sistema e localizam-se dispostos no (Apêndice B; Tabela 5).

Os dados do local de fabricação dos produtos químicos foram obtidos nas notas fiscais de compra dos produtos disponíveis no escritório local da EMBASA. Esses dados

estão listados na Tabela 6. As distâncias consideradas para os transportes foram do local de fabricação dos insumos para o escritório local.

**Tabela 6** – Dados dos locais de fabricação dos produtos químicos utilizados no tratamento de água do sistema estudado:

Produto químico	Fornecedor	Distância (Km)	Local
1	Pluriquímica	90	Simões Filho - Ba
2	Quimil	90	Simões Filho - Ba
3	Aqua Servic	90	Salvador - Ba
4	Quality Cal	210	Euclides da Cunha - Ba

1-Sulfato de Alumínio, Sulfato de Cobre e Ácido Fluocilísico/2- Polímero/3- Cloro Gás/ 4- Cal.

Fonte: Elaborado pela Autora.

O local de fabricação dos tubos PVC foi considerado a fabricação mais próxima do sistema estudado, a empresa Tigre tubos e conexões, localizada na cidade de Camaçari-Ba, situada a aproximadamente 80 km do sistema.

Os dados do consumo de energia elétrica foram obtidos através dos relatórios anuais de consumo de energia elétrica. Os relatórios contêm dados referentes ao consumo da Unidade de Tratamento de Água e das unidades setoriais (9 EEAT e 7 boosters) dispostos no (Apêndice C; Tabela 7).

#### 2.2.3.2 Qualidade dos dados

Segundo a norma ISO 14044(2009a) os requisitos de qualidade dos dados devem ser atendidos quando se pretende utilizar o estudo em afirmações comparativas. Como o presente estudo não tem caráter comparativo, não abrangem todos os requisitos. Os requisitos considerados nesse estudo foram:

- a) Cobertura temporal: os dados coletados são do ano de 2013 e as planilhas contém dados mensais desse ano.
- b) Cobertura geográfica: a Unidade de Tratamento de Água fica localizada no município de Conceição de Feira (BA), nas coordenadas geográficas de 12°30'23'' S e 38°59'48''O.
- c) Representatividade: os dados para o estudo foram coletados no local de funcionamento da estação, refletindo a verdadeira situação da operação do sistema.
- d) Reprodutibilidade: a metodologia e os dados são representativos para o estudo de caso.

## 2.2.4 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

### Cálculo das entradas e saídas do inventário

Para a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) foram coletados dados primários e secundários. Os dados primários foram coletados para a cadeia principal do sistema em estudo. Os dados secundários foram utilizados para a cadeia de suprimento do sistema em estudo, oriunda da base de dados *Ecoinvent*<sup>®</sup> v3 a exemplo do ciclo de vida da produção dos insumos químicos utilizados no tratamento da água. A fronteira deste estudo foi classificada em "berço ao portão".

A unidade funcional foi definida como 1 m<sup>3</sup> de água entregue na porta do consumidor durante 1 ano. Os dados de entradas do inventário considerados foram segregados para cada etapa do sistema. Na captação foram inventariados os dados do consumo de energia elétrica atribuído ao bombeamento; no tratamento foram inventariados o consumo de energia elétrica devido às bombas dosadoras, agitadores e compressores, a energia embutida na produção dos produtos químicos e a energia do transporte dos produtos químicos; e na distribuição foi inventariado o consumo de energia elétrica atribuído ao bombeamento da água tratada e a energia das unidades setoriais, os tubos substituídos para manutenção do sistema e a energia de transporte dos tubos.

ICV do consumo energia elétrica:

Na ETA do sistema estudado o consumo de energia elétrica tem um único ponto de medição, portanto para avaliar os consumos energéticos das etapas de captação, tratamento e distribuição foi adotada a Equação 1 que permite o cálculo do consumo de energia dos conjuntos elevatórios na etapa de captação e distribuição e o saldo da energia atribuiu-se para a etapa de tratamento.

Equação 1- Cálculo do consumo de energia dos conjuntos elevatórios.

$$E = 0,00273 \frac{HV}{\eta} \quad (1)$$

Onde:

$E$ = energia consumida, kWh;

$H$ = altura manométrica de bombeamento, m;

$V$ = volume de água bombeada, m<sup>3</sup>;

$\eta$  = rendimento total dos conjuntos motor-bomba;

Como o sistema funciona com duas EEAT, portanto, para encontrar o valor do consumo de energia destas estações, visto que possuem conjuntos motor/bombas diferentes, foi necessário calcular a média do rendimento dos dois conjuntos de acordo a (Tabela 8). O rendimento total adotado para o conjunto motor/bomba da EEAB foi cerca de 80%.

**Tabela 8** – Rendimento do conjunto motor bomba EEAT.

	n <sub>b</sub> %	n <sub>m</sub> %	n %
Estação elevatória I	90	96	86,4
Estação elevatória II	86	90	77,4
Rendimento médio das Estações Elevatórias I e II			81,9

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

Portanto, através dos dados disponibilizados nos Apêndices A, B e C foi possível obter os valores do consumo de energia que foram distribuídos entre a EEAB, ETA e a EEATI e II de acordo a Tabela 9.

**Tabela 9** – Consumo de energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento.

Consumo de energia elétrica	E(kWh/ano)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	14.820.489
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	15.498.152
Estação Tratamento de água (ETA)	5.999.592
Consumo total (EEAB/EEAT/ETA)	36.318.232

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

O consumo de energia elétrica das unidades de distribuição que integram o SIAA-FSA foi incorporado ao consumo de energia da etapa de distribuição. A partir desses dados obteve-se o consumo de energia elétrica total da fase distribuição de acordo a Tabela 10.

**Tabela 10** – Consumo de energia elétrica da etapa de distribuição.

Consumo de energia elétrica	E (kWh/ano)
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	15.498.152
Unidades Setoriais	4.213.290
Consumo total EEAT	19.711.442

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

Portanto os dados inventariados do consumo de energia elétrica das etapas de captação, tratamento e distribuição do sistema estudado de acordo a Tabela 11:

**Tabela 11** – Consumo de energia elétrica do SIAA-FSA.

Consumo de energia elétrica	E (kWh/ano)
Captação	14.820.489
Tratamento	5.999.592
Distribuição	19.711.442
Consumo total	40.531.522

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

ICV dos produtos químicos e tubos:

Os fluxos de energia na etapa de tratamento foram responsáveis por todos os insumos energéticos diretos e uma parte de energia indireta foi incluída.

A Energia Embutida do produto químico foi obtida diretamente do banco de dados no *Ecoinvent*<sup>®</sup> v. 3.0.

Os dados inventariados para a energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub>eq dos insumos estão apresentados na Tabela 12. Foram escolhidos os processos para os produtos químicos e tubos com cobertura mundial, pois esses insumos não possuem dados de inventário brasileiro no *Ecoinvent*<sup>®</sup> v. 3.0.

**Tabela 12** – Dados da energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub>eq dos insumos.

Produtos	EE (kWh/Kg)	KgCO <sub>2</sub> eq / Kg	Processo
Sulfato de Cobre	12,77	3,1	<i>Sulfato de Cobre.</i>
Sulfato de Alumínio pó	2,88	0,7	<i>Sulfato de Alumínio pó.</i>
Cloro gasoso	4,92	1,2	<i>Cloro gasoso.</i>
Acido Fluocilíssico	9,74	2,5	<i>Acido Fluocilíssico, sem água, solução 22%</i>
Cal Hidratada	1,52	0,8	<i>Cal hidratada.</i>
Tubos substituídos	17,48	2,2	<i>Policloreto de vinila, polimerizado em massa.</i>

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

Dentre os produtos químicos utilizados no tratamento do sistema estudado, o sulfato de alumínio líquido não foi inventariado na base de dados adotada, portanto foi utilizado os dados de energia e emissão de CO<sub>2</sub>eq para o sulfato de alumínio pó, ressaltando que a quantidade da massa desse produto adotada no inventário foi numa proporção de 50%.

O insumo poliácridamida foi desconsiderado devido a sua contribuição no inventário e no indicador energético ser desprezível.

O ICV do transporte dos produtos químicos está exposto na Tabela 13. O total em ton.km dos transportes dos produtos químicos foi de 269.610 ton.km.

**Tabela 13** – Cálculo do ICV do transporte dos produtos químicos.

Produtos	Massa (Ton)	Transporte (km)	ton.km
Sulfato de Cobre	14,60	90	1.314
Sulfato de Alumínio	1618,80	90	145.692
Cloro gasoso	246,00	90	22.140
Acido Fluocíssico	185,50	90	16.695
Cal Hidratada	398,90	210	83.769

Fonte: Elaborado pela Autora.

Para as informações da massa dos tubos substituídos devido danos na rede de distribuição admitiu-se uma taxa anual de substituição de 3% da extensão total da rede, com base em estimativa realizada pelos autores em conjunto com técnicos responsáveis pela manutenção do sistema. Essa estimativa tem respaldo no trabalho realizado por Sarzedas (2009) na cidade de São Paulo, que encontrou valores de até 2,0%. Assumiu-se uma condição média dos tubos o diâmetro de 75 mm e o material de composição o policloreto de vinila (PVC). Considerou-se uma massa de 1,54 kg/m (AMANCO, 2012). A Tabela 14 apresenta os valores da massa dos tubos no inventário:

**Tabela 14** – Cálculo da massa de tubos substituídos.

TUBULAÇÃO		Unidade
Comp. da Tubulação	2.175.000	M
Massa por metro	1,54	kg/m*
Taxa de substituição	3%	
Comp. Substituído	65.250	M
Massa	100.485	Kg

\*Considerando tubos de 75mm.

Fonte: Elaborado pela Autora.

Para o transporte dos tubos o total em ton.km foi de 8.434.

**Tabela 15** - Análise de Inventário dos Insumos do SIAA-FSA.

	Quantidade	Unidade	Correlação	Unidade
<b>ÁGUA CONSUMIDA</b>	21.440.780	m <sup>3</sup>	1	m <sup>3</sup>

<b>CAPTAÇÃO</b>				
<b>Saída conhecida para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos</b>				
	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Correlação</b>	<b>Unidade</b>
Água Captada	42.875.953	m <sup>3</sup>	2	m <sup>3</sup>
<b>Entradas conhecidas da natureza (recursos)</b>				
Água Bruta	42.875.953	m <sup>3</sup>	2	m <sup>3</sup>
<b>Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais)</b>				
Eletricidade	14.820.488,79	kWh	0,69	kWh/m <sup>3</sup>
<b>TRATAMENTO</b>				
<b>Saída conhecida para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos</b>				
	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Correlação</b>	<b>Unidade</b>
Água Tratada	38.688.528	m <sup>3</sup>	1,8	m <sup>3</sup>
<b>Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais)</b>				
Água captada	42.875.953	m <sup>3</sup>	2	m <sup>3</sup>
Eletricidade	5.999.592,09	kWh	0,279	kWh/m <sup>3</sup>
Sulfato de Cobre	14.606	Kg	0,001	Kg/m <sup>3</sup>
Sulfato de Alumínio	1.618.823	Kg	0,076	Kg/m <sup>3</sup>
Cloro gasoso	246.009	Kg	0,011	Kg/m <sup>3</sup>
Ácido Fluossilícico	185.546	Kg	0,009	Kg/m <sup>3</sup>
Cal Hidratada	398.926	Kg	0,019	Kg/m <sup>3</sup>
Transporte	270.607,95	t.km	0,013	tKm/m <sup>3</sup>
<b>DISTRIBUIÇÃO</b>				
<b>Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais)</b>				
Água tratada	38.688.528	m <sup>3</sup>	1,8	m <sup>3</sup>
Eletricidade	19.711.441,52	kWh	0,920	kWh /m <sup>3</sup>
Tubos substituídos	100.485	Kg	0,005	Kg/m <sup>3</sup>
Transporte	46.223	t.km	0,002	MJ/m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborada pela Autora.

Para este estudo, o consumo de energia foi selecionado como um indicador de impacto para propor Cenários de redução das perdas de água no sistema de abastecimento de água potável e, conseqüentemente, de emissão de CO<sub>2</sub> em todo o ciclo de vida do sistema. Os resultados dos inventários do ciclo de vida foram usados para identificar as etapas no processo com o maior impacto ambiental.

A energia operacional do sistema foi calculada nas etapas de captação para bombear a água, na etapa de tratamento para movimentar os equipamentos e na etapa de distribuição para distribuir a água na porta de entrada do consumidor. A fim de apresentar a energia do ciclo de vida do sistema estudado em unidades primárias, a energia operacional em cada etapa foi convertida em unidades primárias utilizando o fator de conversão adotado de acordo com o item 2.2.

A energia incorporada dos produtos químicos foi calculada a partir da energia embutida dos produtos químicos multiplicados pela massa dos produtos utilizados para o tratamento do sistema.

O dado brasileiro para o consumo energético nas etapas de transporte considerado foi o consumo de combustível, óleo diesel, obtido na pesquisa de Pereira (2004) a partir do transporte de materiais para indústrias cerâmicas em caminhão basculante. Ou seja, para o transporte de 4m<sup>3</sup> de argila, equivalente a 7.200 kg, era consumido 1 L de óleo diesel por 3 km. Considerando-se o poder calorífico inferior deste combustível 35 GJ/m<sup>3</sup> (BRASIL, 2005) obteve-se a relação de 1,62 MJ/t/km (0,45kWh/t/Km).

Os consumos energéticos relativos ao transporte de materiais para o sistema foram calculados pelo momento de transporte. Foi utilizado o valor 1,62MJ/ton.km, com o pressuposto de que todos os transportes foram por caminhão.

Uma vez que os resultados de energia foram calculados como energia primária total ou REE, a energia de transporte não considerou os detalhes dos combustíveis utilizados, portanto o fator de conversão adotado para a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub>eq representa um valor médio de diferentes fontes de energia e suas emissões relacionadas.

A energia incorrida para a manutenção do sistema foi em decorrência da substituição dos tubos danificados na rede de distribuição contabilizada durante um ano. A soma da energia incorporada no material, utilizada para a manutenção é chamada energia incorporada recorrente. A ACVE do SIAA-FSA foi a soma de todas as energias incorridas em seu ciclo de vida.

### CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no inventário do ACVE das três etapas estudadas do sistema de abastecimento de água foram somados ao longo do ciclo de vida para posterior avaliação. Estes valores de energia primária foram então traduzidos em quantidades de CO<sub>2</sub>, um excelente indicador para o impacto ambiental devido ao seu papel no aquecimento global. A Tabela 16 apresenta o resultado da ACVE do SIAA-FSA.

**Tabela 16** – Resultado da Energia do Ciclo de Vida para 1 m<sup>3</sup> de água entregue na porta do consumidor/ano.

<i>Captação</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>	<i>*(KWh/m<sup>3</sup>)</i>	<i>** (KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)</i>
Eletricidade	0,691	KWh/m <sup>3</sup>	1,11	0,13
Total			1,11	0,13
<i>Tratamento</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>	<i>*(KWh/m<sup>3</sup>)</i>	<i>** (KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)</i>
Eletricidade	0,279	kWh/m <sup>3</sup>	0,45	0,05
Sulfato de Cobre	0,001	Kg/m <sup>3</sup>	0,01	0,002
Sulfato de Alumínio	0,076	Kg/m <sup>3</sup>	0,22	0,05
Cloro gasoso	0,011	Kg/m <sup>3</sup>	0,06	0,01
Ácido Fluossilícico	0,009	Kg/m <sup>3</sup>	0,08	0,02
Cal Hidratada	0,019	Kg/m <sup>3</sup>	0,03	0,02
Transporte	0,013	ton.km/m <sup>3</sup>	0,01	-
Total			0,85	0,16
<i>Distribuição</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>	<i>*(KWh/m<sup>3</sup>)</i>	<i>** (KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)</i>
Eletricidade	0,92	kWh	1,47	0,17
Tubos	0,005	Kg/m <sup>3</sup>	0,08	0,01
Transporte	0,002	ton.km/m <sup>3</sup>	0,0001	-
Total			1,55	0,18
Total SIAA-FSA			3,51	0,47

\*Requisitos Totais de Energia - RTE ou Intensidade Energética

\*\* Quantidade total de emissões em kgCO<sub>2</sub>eq

Correlação: Valores normalizados para a unidade funcional adotada.

Fonte: Elaborado pela Autora.

A fim de comparar de forma consistente as etapas do sistema analisado, a estimativa do fluxo de energia e emissão de CO<sub>2</sub>eq foram normalizadas para o fluxo de referência, ou seja, o consumo anual de água potável expresso em metros cúbicos, selecionado de acordo

com o objetivo principal do estudo. Os resultados dessa correlação para o RTE e as emissões de CO<sub>2</sub>eq. do SIAA-FSA estão apontadas na Tabela 15.

Os resultados do sistema são apresentados por etapas e comparados com alguns estudos desenvolvidos no setor de água em nível mundial, visto que o Brasil não possui um estudo para comparação nesta área baseado na ACV como é destacado na Tabela 17.

Porém para ter uma comparação justa dos resultados foram observados vários aspectos entre eles: as diferenças metodológicas da avaliação de impacto escolhida, os limites do sistema, os critérios para potabilidade e as diferentes tecnologias de tratamento para obtenção da qualidade da água. Caso contrário, as tecnologias de tratamento que detêm resultados com baixa qualidade da água poderiam estar em desvantagem em comparação com alternativas que obtêm a água com uma qualidade melhor.

### **3.1 Resultados dos Requisitos Totais de Energia ou Intensidade Energética:**

O consumo energético total no Ciclo de Vida do SIAA-FSA foi de 3,51 kWh/m<sup>3</sup> de água efetivamente consumida.

Com o resultado apontado acima pode se afirmar que a energia incorporada na água consumida mensalmente em uma residência com quatro pessoas seria de 51 kWh, considerando o consumo de água per capita médio no SIAA-FSA, igual a 121 L. Esse valor representa mais de 43% do consumo mensal de energia em uma residência média em Feira de Santana no ano de 2013, igual a 118 kWh de acordo com os dados do SEI (2014).

Essa energia seria suficiente para o funcionamento de uma geladeira de 120 L (19 kWh por mês) e mais quatro lâmpadas de 60 W (36 kWh) ligadas 5 horas por dia.

A intensidade energética no setor da água pode variar consideravelmente, o que resulta numa grande variabilidade dos resultados dos estudos da energia incorporada entre os sistemas de água. De acordo a Tabela 17 a intensidade energética do setor de água pode variar de 0,03 kWh/m<sup>3</sup> a 2,24 kWh/m<sup>3</sup>, alguns destes estudos (Goldstein e Smith, 2002; Griffiths-Sattenspiel; Wilson, 2009; Maas, 2009; Lemos et al.,2013) incluem o tratamento de sistemas águas residuais e excluem o uso do lodo e descomissionamento.

Já o estudo de Tripathi (2007) avalia apenas a fase de tratamento de água e esgoto e o estudo de Friedrich (2008) inclui todas as etapas até a disposição final. Essa discrepância pode ser justificada pela matriz de geração de energia elétrica dos locais estudados e a diferença nos resultados em energia primária e secundária.

Por exemplo, neste estudo os resultados são referentes à energia primária como no estudo de Racoviceanu *et al.* (2007). A quantidade total de eletricidade foi multiplicada pela intensidade de energia.

A Tabela 17 apresenta uma comparação dos resultados da energia incorporada ( $\text{kWh/m}^3$ ) no presente estudo e em outros estudos no setor de água baseado na ACV.

**Tabela 17**– Comparação dos resultados da energia incorporada ( $\text{kWh/m}^3$ ) no presente estudo e em outros estudos no setor de água baseado na ACV

Estudos	Captação	Tratamento	Distribuição	Total
SIAA-FSA (2014)	1,11	0,85	1,55	3,51
Wilkinson (2000)	***1,62 - 2,43	-----	-----	-----
Goldstein e Smith (2002)	-----	0,371 - 0,392	-----	-----
Cohen et al.. (2004)	-----	0,03 - 0,06	0,27 - 0,34	-----
CEC (2005)	***0,03 - 1,96	0,2	0,26	0,32 – 2,24
Tripathi (2007)	-----	0,59	-----	-----
Friedrich et al (2008)	-----	-----	-----	0,56
Maas * Baixa (2009)	0,85	0,92	0,05 - 0,41	2,18
**Alta	0,59	0,47		1,47
Racoviceanu et al.(2007)	0,22	0,14	0,28	0,69
Griffiths-Sattenspiel; Wilson (2009)	-----	-----	-----	0,33-1,72
Lemos et al.(2013)	0,78	0,9	0,4	2,0

\*Pequena capacidade para poços  $<1.000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; \*\*Grande capacidade para poços  $> 1.000 \text{ m}^3/\text{d}$ .

\*Pequena capacidade  $< 5.000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; \*\*Grande capacidade de distribuição  $> 5.000 \text{ m}^3/\text{d}$ .

\*\*\* Valores referentes à captação e transporte de água até o local de tratamento.

Fonte: Elaborado pela Autora.

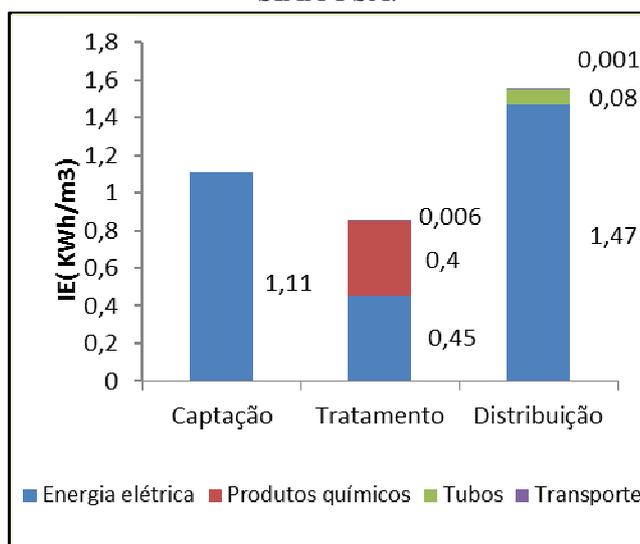
Em todas as etapas analisadas do SIAA-FSA 86% da IE estão relacionadas ao consumo de energia elétrica. Esse resultado se assemelham aos resultados dos estudos de Tarantini e Ferri (2001) e Racoviceanu *et al.* (2007) Landu e Brent (2006), Lundie *et al.*(2004) Friedrich *et al.*(2008) e Lemos *et al.*(2013) que avaliaram o perfil ambiental do

setor da água e esgoto com base na ACV em diferentes regiões e afirmaram que os maiores impactos desses sistemas são atribuíveis ao consumo de energia.

A IE decorrente do consumo de energia elétrica pode ser atribuída à topologia do sistema, conforme mencionado no item 2.1, sendo necessário transpor um obstáculo topográfico. Soma-se a isso o consumo de energia elétrica para as elevatórias setoriais da rede de distribuição, além das elevadas perdas da água distribuída.

Os resultados da IE do SIAA-FSA segregados e estão distribuídos em 1,11 kWh/m<sup>3</sup> para a captação, 0,85 kWh/m<sup>3</sup> para o tratamento e 1,55 kWh/m<sup>3</sup> para a distribuição de acordo com a Figura 10.

**Figura 10** – Demanda de energia acumulada das etapas do ciclo de vida da água consumida do SIAA-FSA:



Fonte: Elaborado pela Autora.

A demanda de 1,11 kWh/m<sup>3</sup> para a captação de água é devido ao processo de bombeamento da água bruta do lago de Pedra do Cavalo até a estação de tratamento. Esse valor representa 32% de toda a demanda acumulada de energia do sistema. Os estudos apontados na Tabela 17 apresentaram uma variação na faixa entre 0,03 kWh/m<sup>3</sup> a 2,43 kWh/m<sup>3</sup> para demanda de energia na etapa da captação, cujos valores variam de acordo com a topografia do local e a distância do manancial até a ETA. Por exemplo, nos estudos de Mass (2009) os sistemas de água da Califórnia são intensivos no consumo de energia, em relação à média nacional, 0,8 kWh/m<sup>3</sup>, devido aos requisitos de bombeamento para captar e transportar a água por maiores distâncias e alturas.

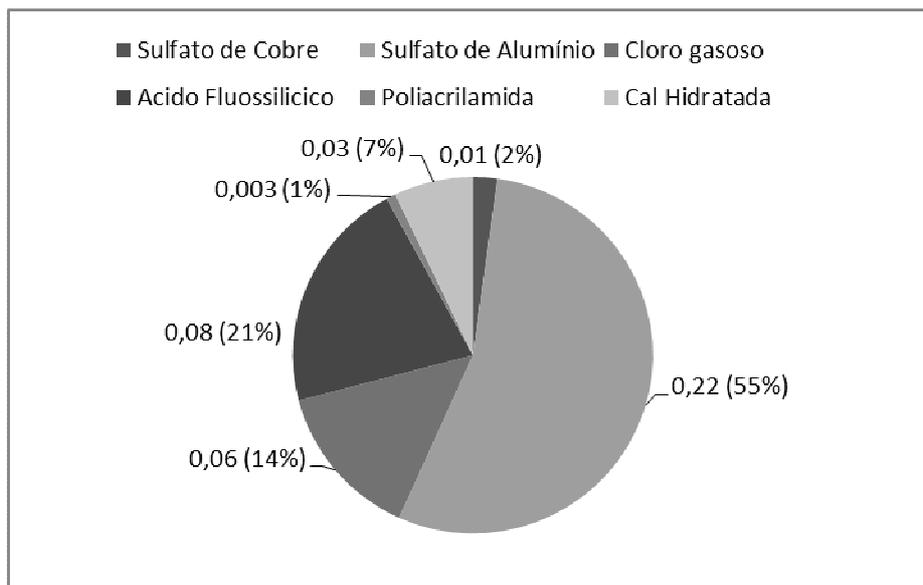
A IE na etapa de tratamento do SIAA-FSA foi  $0,85 \text{ kWh/m}^3$  de água tratada, onde se considerou a cadeia de produção e transporte dos insumos químicos e a eletricidade utilizada nos equipamentos. Nessa etapa o valor encontrado no estudo se assemelha aos valores encontrados pelos estudos de Lemos et al. (2013) para o sistema convencional na cidade de Aveiro (Portugal) que foi de  $0,9 \text{ kWh/m}^3$  e de Mass (2009) para 9 sistemas no Canadá, entre  $0,47$  e  $0,92 \text{ kWh/m}^3$ .

Os valores da intensidade energética na etapa de tratamento dos estudos comparados na Tabela 17 variaram entre  $0,03 \text{ kWh/m}^3$  a  $0,92 \text{ kWh/m}^3$ . A discrepância entre os resultados dos estudos comparados nesta etapa podem ser justificados, devido às quantidades de energias requeridas para a produção dos insumos, do tipo de tratamento aplicado e a qualidade da água bruta dos sistemas.

Na etapa de tratamento do SIAA-FSA, outro contribuinte para os encargos energéticos, além da energia elétrica, foram os insumos químicos, responsáveis por  $0,4 \text{ kWh/m}^3$ . Destaca-se dentre eles, o sulfato de alumínio, responsável pela maior demanda acumulada de energia,  $55\%$ , na etapa conforme mostrado na Figura 11. Esse fato corrobora com a literatura consultada de Vince et al. (2007), Barrios (2006) e Mohamed-Zine et al. (2013). Tal destaque decorre da quantidade consumida desse insumo, visto que sua demanda de energia para a produção é menor que a dos demais insumos químicos.

O ácido fluocilísico também teve uma contribuição significativa nos resultados da IE entre produtos químicos avaliados na etapa de tratamento o que corrobora com os resultados de Racoviceanu et al. (2007). Contudo os maiores impactos para o ácido fluocilísico no estudo citado foram devido à localização do fabricante mais distante da estação de tratamento.

**Figura 11** –Intensidade Energética ( $\text{kWh/m}^3$ ) dos produtos químicos na etapa de tratamento do SIAA-FSA.



Fonte: Elaborado pela Autora.

A intensidade energética nos processos de transporte dos insumos químicos e dos tubos, nas etapas de tratamento e distribuição respectivamente, apresentaram contribuições insignificantes em relação a produção dos insumos e energia. Outro fato que contribuiu nesse sentido foi a distância média adotada no transporte, do local de produção dos insumos até o local de uso, estimado em 200 km. Caso os insumos fossem produzidos em locais mais distantes, por exemplo, em outros países, a contribuição do CED do processo de transporte se tornaria significativa.

Esse resultado é consistente com o estudo de Tarantini e Ferri (2001) e Racoviceanu *et al.* (2007) que afirmaram que a contribuição relativa dos transportes é pequena quando comparado com outros aspectos.

O valor da IE da etapa de distribuição do SIAA-FSA foi de 1,55 kWh/m<sup>3</sup>, esta etapa teve maior demanda de energia em relação às outras etapas do sistema. Deste valor 1,47 kWh/m<sup>3</sup> atribuiu-se o consumo de energia elétrica conforme a Figura 10. Os estudos de Racoviceanu *et al.* (2007), Friedrich (2001), Amores *et al.* (2013) concluíram também que a etapa da distribuição teve a maior IE devido o consumo de eletricidade para o bombeamento da água, sendo muito influenciada pela topografia.

Nos estudos comparativos apresentados na Tabela 17, os resultados da IE da etapa de distribuição variaram entre 0,05 kWh/m<sup>3</sup> a 0,41 kWh/m<sup>3</sup>. Ressaltando que para os estudos

do CEC (2005) e Wilkinson (2000) a etapa de distribuição não possui a maior demanda de energia, pois as redes de distribuição estão incluídas na etapa de captação o que diferencia do sistema estudado.

A maior intensidade energética na etapa de distribuição no sistema estudado pode ser atribuída à capacidade da planta, topologia e a energia consumida pelo bombeamento nas estações elevatórias água tratada. Além da energia consumida para elevação da água para as cidades que integram o sistema.

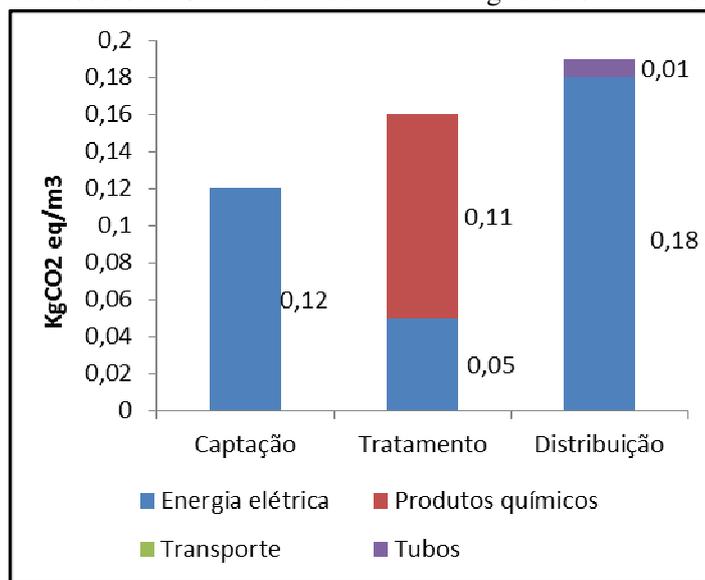
Nessa etapa a substituição anual dos tubos na rede não contribuiu significativamente na IE em relação aos demais insumos.

### **3.2 Resultados das Emissões de Gases de Efeito Estufa:**

O ICV para esta categoria está disposto na Tabela 16. Para a categoria de impacto escolhida no método IPCC (2007) 100 anos as emissões de GEE do SIAA-FSA foram de 0,47 KgCO<sub>2</sub>eq / m<sup>3</sup> de água efetivamente consumida. Ou seja, o sistema emite cerca de 10 milhões de KgCO<sub>2</sub>eq / ano. Assumindo um consumo de 120L de água por pessoa dia resulta em aproximadamente 20 Kg CO<sub>2</sub>eq / per capita ano. Esse resultado corrobora com os resultados de Fredrich et al. (2008), pois a emissão de GEE, calculado no município de Ethekwini (África do Sul), assumindo um consumo de 50 L de água/pessoa dia, resultou em 17 kg de CO<sub>2</sub> eq/pessoa ano devido ao abastecimento de água e de tratamento águas residuais. Deste valor 75% das emissões totais do sistema foram devido ao consumo de energia elétrica.

A etapa de captação foi responsável por 0,13 KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>, o tratamento 0,16 KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> e a distribuição 0,18 KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>, de acordo com a Figura 12.

**Figura 12** - Emissões de GEE do ciclo de vida da água consumida do SIAA-FSA.



Fonte: Elaborado pela Autora.

A etapa de tratamento teve uma contribuição de 34% das emissões no SIAA-FSA devido o consumo dos produtos químicos. Esse resultado pode ser justificado pelo fato do banco de dados utilizado para quantificar as emissões de GEE desses insumos foram a partir dos dados globais, com uma matriz energética diferente da matriz estudada.

Os impactos ambientais resultantes do consumo de eletricidade não dependem apenas da quantidade de eletricidade consumida, mas também da matriz de eletricidade utilizada no banco de dados para os insumos inventariados.

Vale ressaltar que as emissões de GEE dos sistemas de abastecimento de água são relativamente baixo quando comparados com os de outros sistemas, tais como transporte, produção de energia, etc.

As emissões dos tubos substituídos foram insignificantes.

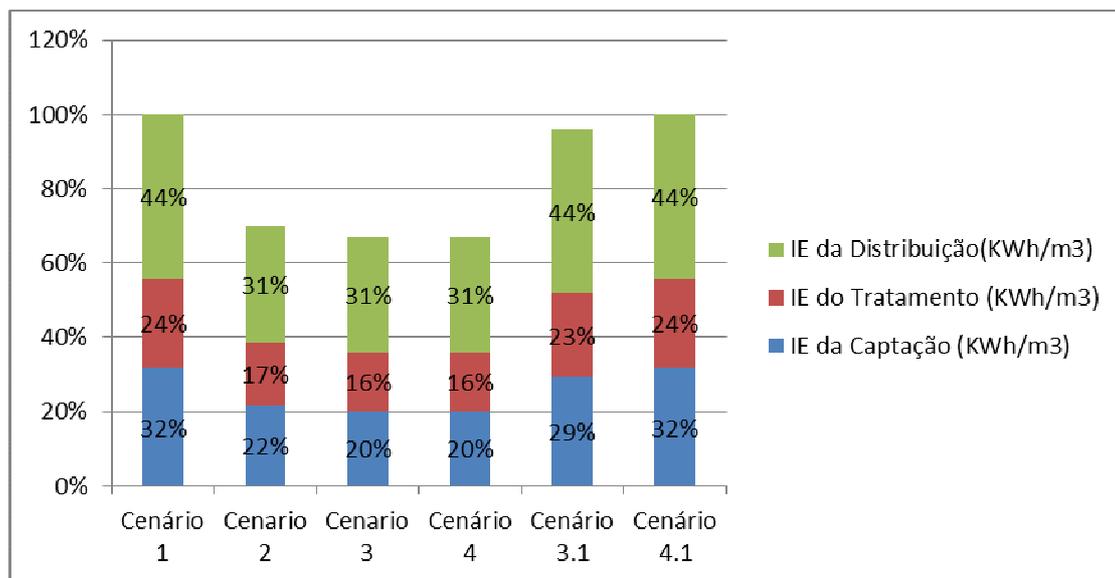
### 3.3 Avaliação dos Cenários:

O consumo de eletricidade foi identificado como o maior contribuinte para a IE do SIAA-FSA. Portanto, preferencialmente, devem ser estabelecidos Cenários de melhoria nos processos intensivos em energia elétrica, a fim de diminuir de forma mais eficaz o seu

consumo. Foram propostos cinco Cenários alternativos para comparação com o sistema atual e os resultados estão apresentados na Figura 13.

Os cálculos dos dados do ICV dos Cenários estão dispostos no Apêndice D.

**Figura 13** – Gráfico comparativo dos Cenários propostos para o SIAA-FSA.



Fonte: Elaborado pela Autora.

No Cenário 2 ao reduzir as perdas de água no sistema distribuidor para 20%, a quantidade de água captada para consumir 1 m<sup>3</sup> de água potável seria reduzida de 2 m<sup>3</sup> para 1,38 m<sup>3</sup>, conseqüentemente, haveria uma redução no consumo de energia elétrica, produtos químicos e combustíveis durante as fases de captação, tratamento e distribuição de água. Nesse cenário haveria uma redução de 30% na intensidade energética do SIAA-FSA em relação ao Cenário atual, resultando numa economia anual de aproximadamente 22 milhões de kWh e 13 milhões de m<sup>3</sup> de água captada.

No Cenário 3 haveria adicionalmente ao Cenário 2 uma redução das perdas de água no sistema produtor, em vez tratar 1,38 m<sup>3</sup> seriam tratados 1,29 m<sup>3</sup> o que reduziria em aproximadamente 3% a IE em relação ao Cenário 1. Considerando todo o sistema a redução seria de aproximadamente 33% da IE em relação ao Cenário 1.

No Cenário 4 o valor da IE foi mantida em comparação ao Cenário 3 como apresentado na Tabela 18. Contudo as medidas implementadas no Cenário 4 reduziram a IE anual em 52% e o volume de água captada em 55% em relação ao Cenário 1.

**Tabela 18** – Volume de água e consumo de energia dos Cenários sugeridos.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 3.1	Cenário 4.1
Vol. de água captada (m <sup>3</sup> )	42.875.953	29.702.953	27.629.811	19.340.909	39.885.080	30.011.026
Vol. de água consumida (m <sup>3</sup> )	21.440.780	21.440.780	21.440.780	15.008.546	21.440.780	15.008.546
IE anual (kWh)	75.291.184	52.665.610	50.636.485	35.445.539	72.289.884	52.618.649
IE (KWh/m <sup>3</sup> )	3,51	2,46	2,36	2,36	3,37	3,51

Fonte: Elaborada pela Autora.

Se as reduções propostas nos cenários 2, 3 e 4 não fossem cumulativas, como apresentadas nos cenários 3.1 e 4.1, os resultados obtidos não trariam ganhos energéticos significativos na demanda acumulada de energia do produto. No cenário 3.1 a redução seria de 4% da IE em relação ao cenário 1.

No cenário 4.1 reduziria a demanda anual de água captada e a demanda acumulada de energia anual do SIAA-FSA. Porém, a redução do CED por unidade de produto do SIAA-FSA se coloca como fator complementar para o aumento da ecoeficiência energética global, como aponta o cenário 4.

## **CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

O SIAA-FSA demonstrou que os maiores encargos energéticos estão associados ao consumo de energia elétrica. Os encargos associados com as perdas na rede de distribuição são considerados altos, uma vez que os recursos (produtos químicos e energia) são usados para produzir e bombear a água que depois é perdida.

Das três etapas do sistema estudado, a distribuição foi a contribuinte dominante para a intensidade energética e as emissões de GEE. O consumo de energia elétrica nesta etapa contribuiu para a maior parte dos encargos energéticos, todavia a ACVE é um indicador significativo do desempenho ambiental do sistema.

Na etapa do tratamento os encargos energéticos e emissão de GEE derivados do consumo de energia elétrica e uso dos produtos químicos tiveram resultados proporcionais, 53% e 47% respectivamente. Portanto a minimização do uso produtos químicos, respeitando os padrões de potabilidade, pode levar a redução do impacto do consumo de energia e emissão de GEE e resultar em um melhor desempenho ambiental do sistema.

Os encargos energéticos e impactos ambientais do transporte de produtos químicos e tubos foram constatados insignificantes. Além disso, a IE dos tubos substituídos na manutenção do sistema foi identificada com um valor irrelevante em relação aos outros insumos.

A ACVE do sistema estudado comprovou que a demanda de energia para o bombeamento na captação, a energia consumida pelas estações elevatórias na distribuição e as perdas de água são pontos chaves para ações de melhoria na eficiência energética. Bem como a qualidade da água captada no rio, pois ela influencia na quantidade de produtos químicos usados no tratamento.

Portanto, a ACVE do SIAA-FSA avaliada por etapas foi útil para identificar as contribuições de cada uma delas em específico, facilitando a proposição de medidas de redução dos Requisitos Totais de Energia e das emissões de GEE em cada etapa da cadeia produtiva.

Sugere-se, preferencialmente, ser estabelecidos cenários de melhoria como foi proposto, a fim de reduzir os encargos energéticos e seus impactos ambientais associados. O aumento do consumo da água também se reflete no aumento do consumo de energia elétrica e da quantidade dos produtos químicos, portanto ao reduzir as perdas de água no sistema de distribuição e redução do consumo de água como foi proposto nos cenários 2, 3 e 4 simultaneamente reduzirá significativamente a demanda acumulada de energia da água potável efetivamente consumida na porta do consumidor.

Os resultados desta análise podem ser utilizados em estudos mais detalhados para identificar o uso de energia e emissões de GEE e desempenhar um papel importante em estudos comparativos que avaliem a sustentabilidade ambiental de tecnologias inovadoras para a conservação da água, como o armazenamento de água da chuva e /ou reutilização de águas cinza.

As alterações climáticas são limites para a disponibilidade de água potável e energia, pois grande quantidade de energia que é gasta para captar, tratar e distribuir a água, o que significa que estratégias orientadas para o setor de água podem resultar em reduções significativas no uso de energia e das emissões de gases de efeito estufa.

A ACV mostrou ser uma metodologia de grande valia na avaliação das emissões de CO<sub>2</sub>eq equivalente e da intensidade energética do SIAAFSA. No entanto, para facilitar a implementação de uma avaliação ambiental, para apoio à decisão dos gestores, estas devem ser apresentadas de uma forma mais clara para os operadores da planta. Além disso, devem ser realizadas mais pesquisas sobre alguns dados do inventário, especialmente para os dados locais da energia embutida nos produtos químicos e dados das características do lodo da ETA.

A coleta de dados é a parte mais demorada em uma ACV. Devido ao envolvimento de muitas pessoas, responsáveis pela disponibilização dos dados. Muitas vezes é difícil

convencê-las que a pesquisa não é para revelar as falhas da gestão, pois, na realidade, têm critério apenas de pesquisa acadêmica. Estas limitações em conjunto com o problema comum da qualidade dos dados encontrado em estudos de ACV contribuem para o nível de incerteza dos resultados deste estudo.

As formas mais adequadas para ultrapassar algumas dessas limitações devem ser investigadas para aumentar o uso de ACV em avaliação dos sistemas de abastecimento de água no Brasil onde é verificado um consumo intenso de energia e altos índices de perdas.

Outro limite da pesquisa é a comparação dos resultados encontrados neste estudo com os resultados de outros autores, devido à existência de diferenças metodológicas, limites do sistema e a metodologia de avaliação de impacto escolhida entre os estudos comparados.

Ao avaliar o desempenho ambiental do setor de saneamento, a atenção é geralmente dada na energia consumida ao longo do tempo de vida ou na emissão de gases de efeito estufa e substâncias tóxicas. Consequentemente, neste estudo, o impacto do uso de água doce em todo o ciclo de vida do produto foi negligenciado. Isto pode ser explicado pela história da ACV, a qual foi desenvolvida em países industrializados que, geralmente, não sofrem de falta de água. Além disso, a ACV foi tradicionalmente utilizada para avaliar os produtos industriais, os quais requerem baixas quantidades de água na sua produção. No entanto, há também desafios metodológicos específicos que, tanto o inventário e a avaliação de impacto, têm de enfrentar para o uso da água.

Ao incorporar esse tipo de análise ao planejamento do sistema e à avaliação de novas tecnologias, este estudo poderá servir para o desenvolvimento de um projeto mais preventivo e orientado na implantação de sistemas de abastecimentos de água. A expansão dos limites desta avaliação incluindo o impacto do uso da água pode ser útil no planejamento futuro.

Sugestões para continuidade desta pesquisa são: comparar o custo e a pegada de carbono do SIAA-FSA; aumentar o limite do estudo acrescentando, o uso, tratamento de águas residuais e o fim de vida; e, avaliar o impacto do uso da água doce em todo o setor de água.

Os resultados desta análise servirão de base para comparação com os próximos estudos no setor. Recomendamos simulações que avaliem, além dos encargos energéticos, os potenciais impactos ambientais de sistemas de abastecimento de água.

## REFERÊNCIAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: Diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate.** Setembro de 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro. 2009 a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14044: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Orientações.** Rio de Janeiro: 2009b.

AMANCO, 2012. **Catálogo de infraestrutura.** In <<<http://www.amanco.com.br>

AMORES, M. José. **Environmental assessment of urban water cycle on Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions** by LCA approach. Journal of Cleaner Production, 2013. 43: 84-92.(dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.033)

**AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO. Ecossistemas e Bem-estar humano.** Relatório Síntese. 2005.

BALAT, m. **Usage of energy sources and environmental probles.** *Energy Exploration & Exploitation*, v. 23, n. 2, p. 141-168,2005.

BARRIOS, R., Siebel, M., van der Helm, A., Bosklopper, K., Gijzen, H. **Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet.** Journal of Cleaner Production. 16, 471-476. 2008

BONTON, A., COUCHARD, C., BARBEAU, B., JEDRZEJAK, S. **Comparative Life Cycle Assessment of Water Treatment Plants.** SciVerse ScienceDirect. Desalination 284. 2012 pages 42-54. , In <<<http://www.elsevier.com/locate/desal>>>

BRASIL, Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. **Atlas de Saneamento 2011 - IBGE.** In<<[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>>

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm)>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2013:** ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Relatório do Desenvolvimento Humano. **Escassez de Água – Riscos e Vulnerabilidades associadas.** 2006.

BRASIL. MCTI. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília:** Brasília: Secretaria de Política e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED, 2010. (Período: 1990 – 2005).

BUCKLEY, C. Friedrich, E., e BLOTTNITZ, von Harro. **Life-cycle assessments in the South African water sector: A review and future challenges.** Pollution Research Group, School of Chemical Engineering, University of KwaZulu-Natal, Durban 4041, South Africa. 2011.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION [CEC]. **Water-Energy Relationship Report.** CEC, California, 2005. Disponível In<< [CARDOSO, R. B.; NOGUEIRA, L. A. H. \*\*Estudo de Emissões de Gases do Efeito Estufa de Reservatórios Brasileiros.\*\* Revista PCH Notícias & SHP News, Itajubá, n. 41, p. 21-25, 2009.](http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-011/CEC-700-2005-011->></a></p>
</div>
<div data-bbox=)

COLTRO, L; GARCIA, Eloísa E. C; QUEIROZ, Guilherme de C. **Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil.** Int J Life Cycle Assess 8 (5) 290-296 (2003).

DI, X. et al. **Life Cycle Inventory for Electricity Generation in China.** International Journal of Life Cycle Assessment, v. 12, n. 4, p. 217-224, 2007.

DINCER, I. **Energy and Environmental Impacts: Present and Future Perspectives.** Energy Sources, v. 20, p. 427-453, 1998.

ECOINVENT versão 3.0 **The Environmental Development of Industrial Products (EDIP).** Institute for Product Development (IPU) at the Technical University of Denmark. 2003. in: << <http://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-version-2/>>>

EMMERSON RHC, MORSE GK, LESTER JN and EDGE DR (1995) **The life-cycle analysis of small scale sewage-treatment processes.** J. CIWEM. 9 317-325

ESREY, SA. Rethinking Sanitation: Panacea or Pandora's Box. In: Chorus I, Ringelband U, Schlag G & Schmoll O (eds), **Water, Sanitation and Health, International Water Association,** London. 2000.

EUROPEAN COMMISSION. ILCD Handbook: **International reference life cycle data system: general guide for life cycle assessment.** 1 ed. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2010a.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos. Gestão Ambiental.** Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FILION, Y; MACLEAN, H.; A.; KARNEY, B. **Life-Cycle Energy Analysis of a Water distribution System.** Journal of infrastructure systems.2004.

FRIEDRICH, E. e BUCKLEY, C. **Life –cycle assessment as an environmental assessment tool in the water industry**. School of Chemical Engineering, Pollution Research Group, University of Natal, Durban, South Africa.2002.

FRIEDRICH, E. et al. **Environmental life cycle assessments for water treatment processes – A South African case study of an urban water cycle**. School of Chemical Engineering, Pollution Research Group, University of Natal, Durban, South Africa.2008.

FRIEDRICH, E. **LIFE CYCLE ASSESSMENT OF POTABLE WATER PRODUCTION**. Master of Science in Engineering in the School of Chemical Engineering, University of Natal. Durban. 2001.

FRISCHKNECHT, Rolf; STEINER,Roland. **Metals Processing And Compressed Air Supply** Data v2. 0.Ecoinvent Report No.23,ESU Services Ltd.,91p.;2007

GHISI, E. et al... **Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil**. Building and Environment. Laboratory of Energy Efficiency in Buildings, Department of Civil Engineering, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brazil. 2005.

GLEICK, H. Peter. **WATER AND ENERGY**. **Pacific Institute for Studies in Development**, Environment, and Security, Oakland, California. 1994.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**.2a ed. revisada. Tradução de André Koch. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo,2003.

GOLDSTEIN, R.; SMITH, W.; **Water and Sustainability (Volume 4): U.S. Electricity Consumption for Water Supply and Treatment - The Next Half Century**. 2002.

GOMES, Heber Pimentel. **Eficiência Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos**. 2ª Ed. UFPB, 2009.

GRIFFITHS-SATTENSPIEL, B., WILSON, W. **The Carbon Footprint of Water.Portland**: River Network.<http://www.rivernetwork.org/resource-library/carbon-footprint-water>. 2009.

HAUSCHILD, M.Z et al.. **Identifying best existing practice for characterization modelling in life cycle impact assessment**. Int J Life Cycle Assess18: 683-697. 2013.

HOSPIDO, A et al.. **Life Cycle assessment applied to wastewater treatment: State Of the Art**. Water research, 47(15), 5480–92.2013.

\_\_\_\_\_. **ILCD Handbook: international reference life cycle data system: framework and requirements for life cycle impact assessment models and indicators**. 1 ed. Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2010b.

IFIAS, International Federation of Institutes for Advanced Study. Energy analysis and economics, **Report no. 9. International Federation of Institutes for Advanced Study**. Stockholm, Sweden. 1975.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key World Energy Statistics**. Paris: IEA,2009.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: **Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report** of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC. 2007. **Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas**. [http://www.natbrasil.org.br/docs/ipcc\\_2007.pdf](http://www.natbrasil.org.br/docs/ipcc_2007.pdf).

IPCC/ONU. 2007.**Conferência Latino Americana sobre meio ambiente e responsabilidade ambiental. Novos Cenários Climáticos**. Paris. In <<<http://www.ecolatina.com.br/2009/biblioteca.asp>>>

ISO, International Organization for Standardization. ISO/TS 14048: **Environmental management — life cycle assessment — data documentation format**. Geneva, Switzerland, 2002.

KIM, S.; DALE, B. E. **Life cycle inventory information of the United States electricity system**. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 10, n. 4, p. 294-304, 2005.

LANDU, L. e BRENT, A. **Environmental life cycle assessment of water supply in South Africa: The Rosslyn industrial area as a case study** Chair of Life Cycle Engineering, Department of Engineering and Technology Management, University of Pretoria, South Africa. 2006.

LEMOS, D.; Dias, A.; Gabarrell, X.; Arroja, L. **Environmental assessment of an urban water system**. *Journal of Cleaner Production*. 54. pag. 157e165. 2013.

LIMA, A.M.F. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil: Inserção e Perspectivas**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gerenciamento e Tecnologias Ambientais No Processo Produtivo, Escola Federal da Bahia, Salvador, 2007.

LUNDIE,S., PETERS, G. AND BEAVIS, P. **Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems Planning**. Environ. Sci. Technology. 2004.

MAAS, C. **Greenhouse Gas and Energy Co-benefits of Water Conservation**. Polis Research Report.2009.

MACHADO, Luiza Carla Girard Teixeira. **Análise do Ciclo de Vida aplicada ao gerenciamento de resíduos: o caso da ETA Bolonha**. 340 p. Tese (Doutorado em Ciências: Desenvolvimento Sócio-Ambiental). Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém. 2003.

MAHGOUB, M. El Sayed et al... **Towards sustainability in urban water: a life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City**, Egypt. *Journal of Cleaner Production*. 2010.

MCTI, **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. In: <<<http://gvces.com.br/arquivos/177/EstimativasClima.pdf> 2013>>

MENDONÇA, Mário Jorge Cardoso de; GUTIEREZ, Maria Bernadete Sarmiento. **O efeito estufa e o setor energético brasileiro**. Texto para Discussão n. 719. Rio de Janeiro: IPEA, abril de 2000.

MIRANDA, Mariana Maia. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. 162p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

MOHAMED-ZINE, MB; HAMOUCHE, A. e KRIM, L. **The Study of potable water treatment process in Algeria (boudouaou station) - by the application of life cycle assessment (LCA)**. Boumerdes, Algeria. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 2013.

MOHAPATRA, M.A. et al. **Improving eco-efficiency of Amsterdam water supply: a LCA approach**, *J Water Supp Res Technol Aqua*. 2002.

MOURA, Gustavo Nikolaus. **A relação entre água e energia: Gestão energética nos sistemas de abastecimento de águas das companhias de Saneamento básico do Brasil**. Tese de mestrado em Ciências e Tecnologias Energéticas. Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.2010.

PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico) Caderno 5. Ano 2009. **Uso Racional de água e energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**.

RACOVICEANU, A. et al. **Life Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment System**, *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, 2007. In <<[RALUY, G. , SERRA, L., UCHE, J. \*\*Life cycle assessment of MSF, MED and RO desalination technologies\*\*. CIRCE—Department of Mechanical Engineering, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain. \*Energy\* 01/2006.](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291076-0342%282007%2913%3A4%28261%29>></a></p>
</div>
<div data-bbox=)

RODRIGUES, C. R. B. et al. **Sistemas computacionais de apoio a ferramenta análise de ciclo de vida do produto (ACV)**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais, Rio de Janeiro. 2008.

ROTHAUSEN, S. e CONWAY, D. **Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector.** Nature Climate Change. REVIEW ARTICLE.PUBLISHED ONLINE: 26 JUNE 2011.

ROUX, P., et al.. **Life Cycle Environment Assessment (LCA) of Sanitation systems including sewerage: Case of vertical flow constructed wetlands versus activated sludge.** Publicado em "12th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control", Venise: Itália, 2010. In << <https://hal-sde.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/572479/filename/MO2010-PUB00029467.pdf>>>

SANTOS, G. F. M. *et al.* **A importância da utilização de softwares na avaliação do ciclo de vida do produto.** Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Feira de Santana, 2012.

SANTOYO-CASTELAZO, E.; GUJBA, H.; AZAPAGIC, A. **Life cycle assessment of electricity generation in Mexico.** Energy, v. 36, n. 3, p. 1488-1499, 2011.

SARTORI, K.U; Hestnes I. **Embodied and Construction Phase Greenhouse Gas Emissions of a Low-energy Residential building**

SARZEDAS, Guaraci Loureiro. **Planejamento para a substituição de tubulações em sistemas de abastecimento de água.** Aplicação na rede de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo/G.L.Sarzedas. 2009.113 p.

SCOTTISH Water. **Carbon footprint report.** 2007-2008.In: <<<http://www.scottishwater.co.uk/assets/about%20us/files/corporate%20responsibility/200708scottishwatercarbonfootprint.pdf>>>

SEI, Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais do Estado da Bahia. **Tabela do consumo e consumidores de energia elétrica por classe na Bahia,** 2014. <http://sim.sei.ba.gov.br/sim/tabelas.wsp>.

SEO, E e KULAY, L. **Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta Gerencial para Tomada de Decisão.** Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meioambiente, C.1, n.1, Art. 4, 2006.

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry. *Guidelines for LifeCycle Assessment: A “Code of Practice”.* From the SETAC Workshop held at Sesimbra, Portugal. Publicado pela SETAC, U.S.A., 1993.

SHARAAI, A et al. **Life Cycle Impact Assessment (LCIA) in Potable Water Production in Malaysia:** Potential Impact Analysis Contributed from Production and Construction Phase Using Eco-indicator 99 Evaluation Method. Institute of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Malaya.2010

SHRESTHA, R.R., DIBIKE, Y.B., PROWSE, T.D., **Modelling of climate-induced hydrologic changes in Lake Winnipeg Watershed**. Journal of Great Lakes Research (in press). doi:10.1016/j.jglr. 2011.02.004.

SNIS (2012) **DIAGNÓSTICO DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTOS – 2012**. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. In:<<<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=103>>>

SOMBEKKE, D.K., Voorhoeve, P. H. **Environmental impact assessment of groundwater treatment with nanofiltration**. Desalination.1997.

STOKES, J, HORVATH, **A Life Cycle Energy Assessment of Alternative Water Supply Systems**. LCA Methodology and Case Study. Alternative Water Supply Systems.2005.

TARANTINI, M e FERRI, F. **Life Cycle Impact Assessment (LCIA) in Potable Water Production in Malaysia: Potential Impact Analysis Contributed from Production and Contruction Phase Using Eco-indicator 99 Evaluation Method**.2001.

TAVAVES, S. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras**. Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de doutorado. 2006.

TRIPATHI, M. **Life-Cycle Energy and Emissions for Municipal Water and Wastewater Services: Case-Studies of Treatment Plants in US**. Ann Arbor. Center for Sustainable Systems, University of Michigan – U.S. 2007.

TSUTIYA, M. T., **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água**, ABES, 1ª Edição, 2001.

UCHE, J.; GRACIA, A.; CÍREZ, F.; CARMONA, U. **Environmental impact of water supply and water use in a Mediterranean water stressed region**. Journal of Cleaner Production. 2014

UNESCO. 2009. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos Recursos Hídricos. O manejo dos recursos hídricos em condições de incerteza e riscos**.

VINCE et al., **LCA tool for the environmental evaluation of potable water production**.Dessalination.2007.

WANG, J. ROTHAUSEN, G.S.A., DECLAN,C., LIJUAN, Z., WEI, X., IAN, P.H., and YUIMIN, L. **China's Water-Energy Nexus: Greenhouse-gas Emission from Groundwater use for Agriculture** Environmental Research Letters, 7(1) 014035. In <<[http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/1/014035/PDF/1748-26\\_7\\_1\\_014035/pdf/1748-9326\\_7\\_1\\_014035.pdf](http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/1/014035/PDF/1748-26_7_1_014035/pdf/1748-9326_7_1_014035.pdf)>> 2012.

WATER LIFE DECADE. Conferência de Zaragoza - **O Direito Humano à Água e ao Saneamento**. Programa da Década da Água da ONU-2014. In: <<[http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_milestones\\_por.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_milestones_por.pdf)>>

WBCSD. **Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável** In.:<<  
<http://www.wbcd.org/home.aspx>>>.

WILKINSON, R. **Methodology for analysis of the energy intensity of California water systems, and an assessment of multiple potential benefits through integrated water-energy efficiency measures**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley Laboratory, California Institute for Energy Efficiency. University of California, Santa Barbara. 2000.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – Dados dos conjuntos elevatórios do SIAA-FSA.

Dados dos conjuntos motor/bomba das estações elevatórias.

**Tabela 1** – Dados dos conjuntos motor/bomba da estação elevatória de água bruta.

	<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potência (CV)</b>	<b>Vazão (L/s)</b>
Motor 1, 4,5	WEG	HGF 400B	1115,29	540
Motor 2,3	WEG	HGF 355C	608,34	270
Bomba 1,4,5	Flowserv	16QL21		540
Bomba 2,3	Flowserv	16QL21		270

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

Geralmente são utilizados na captação 3 motores de 1100 (CV) ou 2 de 1100 CV e 1 de 600 CV.

**Tabela 2** – Dados dos conjuntos motor/bomba da Estação Elevatória de Água Tratada I

<b>Fabricante Modelo</b>			<b>Potência (CV)</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	<b>Altura manométrica (m)</b>	<b>Altura manométrica total (m)</b>
Motor	WEG	HGF 450D	1368,7	513,3	126,8	120
Bomba	Flowserv	12LN32C				

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

**Tabela 3** – Dados do conjunto motor/bomba da Estação Elevatória de Água Tratada II

	<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potência (CV)</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	<b>Altura manométrica (m)</b>	<b>Altura manométrica total (m)</b>
Motor	TOSHIBA	8 LN –	750	300	140	200
Bomba	WORTHINGTON	21 8LN21E				

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

A estação elevatória I possui 3 conjuntos motor/bomba e a estação elevatória II possui 4 conjuntos motor/bomba.

APÊNDICE B – Dados dos volumes de água e produtos químicos

A Tabela 4 apresenta os valores do volume de água do SIAA-FSA.

**Tabela 4** – Volume de água m<sup>3</sup> no ano 2013.

2013	Captado	Tratado	Distribuído	
			Micromedido	Estimado
jan/13	3.713.977	3.396.246	1.672.413	96.814
fev/13	3.437.880	3.126.405	1.787.331	100.824
mar/13	3.802.727	3.427.847	1.764.072	84.155
abr/13	3.565.185	3.194.467	1.796.304	83.563
mai/13	3.559.120	3.233.507	1.833.301	85.499
jun/13	3.414.682	3.105.978	1.642.901	83.037
jul/13	3.486.209	3.142.847	1.645.958	78.950
ago/13	3.492.737	3.189.023	1.580.379	98.607
set/13	3.381.654	3.076.617	1.510.037	135.036
out/13	3.680.770	3.282.000	1.579.552	87.423
nov/13	3.591.611	3.208.222	1.791.521	93.357
dez/13	3.749.401	3.305.369	1.726.528	83.218
Total	42.875.953	38.688.528	20.330.297	1.110.483

**Fonte:** Dados do COPAE – Controle Operacional de Perdas de Água e Esgoto.

A Tabela 5 indica a quantidade de produtos químicos utilizados no tratamento de água no SIAA-FSA no ano de 2013.

**Tabela 5** – Consumo de produtos químicos em Kg no ano 2013.

2013	Sulfato de Cobre	Sulfato de Alumínio	Polímero	Cloro gasoso	Flúor	Cal Hidratada
jan/13	818	297.302	369	19.225	17.260	36.810
fev/13	522	277.490	330	18.310	16.540	33.360
mar/13	1.440	306.940	389	24.980	19.250	33.380
abr/13	1.083	255.719	315	22.240	15.320	30.490
mai/13	1.073	247.249	332	21.560	14.560	30.390
jun/13	1.001	244.911	281	18.820	12.680	32.240
jul/13	1.535	248.940	335	17.300	11.830	33.740
ago/13	1.499	250.056	327	17.188	12.168	34.341
set/13	1.348	242.442	352	19.575	12.114	32.384
out/13	1.409	264.232	348	22.824	12.853	34.735
nov/13	1.426	268.101	326	19.483	19.033	31.080
dez/13	1.452	334.264	343	24.504	21.938	35.976
Total	14.606	3.237.646	4.047	246.009	185.546	398.926

**Fonte:** Dados dos relatórios da ETA.

APÊNDICE C – Dados do consumo de energia elétrica.

A Tabela 7 apresenta o consumo de energia elétrica das Unidades Setoriais do SIAA-FSA no ano 2013.

**Tabela 7 – Consumo de energia elétrica das Unidades Setoriais do SIAA-FSA.**

Unidades EEAT	Consumo	
	(kWh)	Tarifa
EEAT – SERRA	757.019,37	A4-H.VERDE
EEAT- P. Serra (M.Quitéria)	95.769,48	A4-H. VERDE
MED. - Res. Tomba	4.024,00	B3-3
P. CATÓDICA- Tapera	13.746,00	B3-2
P. CATÓDICA-Jacaré	22.303,00	B3-2
EEAT-3Tanq./ST.Bar.(CAIXA 01)	1.567.824,57	A4-CONV.
EEAT-4Tanq./ST.Bar(CAIXA02)	725.926,53	A4-CONV.
EEAT-S. CRISTOVÃO	52.815,26	B3-3
EEAT- 3-RE-ER	7.031,00	B3-3
EEAT- 3-RE-ER	27.222,00	B3-3
Booster Ovo da Ema	39.295,00	B3-2
Booster de Jaíba	64.446,00	B3-3
EEAT-BR 324 YAZAKI	63.148,00	B3-3
EEAT João Paulo II	169.408,63	A4-H.VERDE
Booster Galhardo	17.717,05	B3-1
RE Tiguaruçu (Rádio)	600,00	B3-2
BOOSTER ALIMBA	231.545,85	A4-CONV
Booster George Américo	139.937,67	A4-H. VERDE
PROTEÇÃO CATODICA	66.693,00	B3-3
EEAT RIO VERMELHO	103.096,67	B3-3
LJ. SANTANOPOLIS	14.280,24	B3-1
LJ.Tanquinho	1.698,00	B3-3
BOOSTER SANTIAGO	7.402,00	B3-3
Booster Capoeiruçu	20.341,00	B3-2
Consumo Total	4.213.290,32	

**Fonte:** Dados do COPAE – Controle Operacional de Perdas de Água e Esgoto.

#### APÊNDICE D – ICV dos Cenários analisados.

Dados as condições dos Cenários analisados foram simulados valores para o ICV das entradas de energia elétrica e insumos. Portanto, os valores do consumo de energia elétrica para os Cenários analisados nas etapas do SIAA-FSA foram considerados que a energia consumida pela EEAB é responsável por 40% do valor, as EEAT I e II é responsável por 42,6%, e a ETA responsável por 16% do consumo de energia. Ressaltando que a parcela de 42,6% do consumo de energia da distribuição está distribuída entre cerca de 80% para as EEAT I e II e 20% para as Unidades de distribuição.

Para calcular o consumo dos conjuntos motor bomba das estações elevatórias foi reduzido a distribuição e o consumo de água proporcionalmente aos valores sugeridos nos Cenários. Estes resultados estão dispostos nas Tabelas:

Cálculo do consumo de energia elétrica dos conjuntos elevatórios do sistema de abastecimento de água ano 2013 do Cenário 2:

**Tabela 19** – Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 2:

Estação elevatória	V (m <sup>3</sup> )	H <sub>t</sub> (mca)	n <sub>m</sub>	n <sub>b</sub>	N	E (Kwh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	29.702.953,56	103,3	0,96	0,85	0,81	10.265.318,9
Estação elevatória água tratada I e II	26.800.975,00	120			0,81	10.720.390,0

Fonte: Autora.

**Tabela 20**- Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento do Cenário 2.

Consumo de energia elétrica	E(KWh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	10.265.318,91
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	10.720.390,00
Estação Tratamento água (ETA)	7.107.609,58
Consumo total (EEAB/EEAT/ETA)	28.093.318,49

Fonte: Autora

**Tabela 21** - Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 2

Consumo de energia elétrica	E(KWh)
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	10.720.390,00

Unidades EEAT	2.913.949,81
Consumo total EEAT	13.634.339,81

Fonte: Autora.

**Tabela 22** - Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 2.

Consumo de energia elétrica	E(KWh)
Captação	10.265.318,91
Tratamento	4.154.408,53
Distribuição	13.634.339,81
Consumo total	28.054.067,25

Fonte: Autora

Cálculo do consumo de energia elétrica dos conjuntos elevatórios do sistema de abastecimento de água ano 2013 do Cenário 3:

**Tabela 23**– Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 3:

Estação elevatória	V (m <sup>3</sup> )	H <sub>i</sub> (mca)	n <sub>m</sub>	n <sub>b</sub>	N	E (Kwh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	27.629.871,13	103,3	0,96	0,85	0,81	9.548.863,1
Estação elevatória água tratada I e II	26.800.975,00	120			0,81	10.720.390,0

Fonte: Autora.

**Tabela 24**- Consumo energia elétrica segregado da unidade de tratamento do Cenário 3.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	9.548.863,15
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	10.720.390,00
Estação Tratamento de água (ETA)	4.010.104,04
Consumo total (EEAB/EEAT/ETA)	24.303.660,85

Fonte: Autora

**Tabela 25**- Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 3.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	10.720.390,00
Unidades EEAT	2.913.949,81
Consumo total EEAT	13.634.339,81

Fonte: Autora.

**Tabela 26-** Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 3.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Captação	9.548.863,15
Tratamento	3.864.456,51
Distribuição	13.634.339,81
Consumo total	27.047.659,47

Fonte: Autora

Cálculo do consumo de energia elétrica dos conjuntos elevatórios do sistema de abastecimento de água ano 2013 do Cenário 4:

**Tabela 27-** Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 4:

Estação elevatória	V (m <sup>3</sup> )	H <sub>t</sub> (mca)	n <sub>m</sub>	n <sub>b</sub>	N	E (Kwh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	19.340.909,79	103,3	0,96	0,85	0,81	6.684.204,2
Estação elevatória água tratada I e II	18.760.682,50	120			0,81	7.504.273,0

Fonte: Autora.

**Tabela 28-** Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento do Cenário 4.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	6.684.204,20
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	7.504.273,00
Estação Tratamento água (ETA)	2.824.085,39
Consumo total (EEAB/EEAT/ETA)	17.012.562,59

Fonte: Autora

**Tabela 29-** Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 4.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	7.504.273,00
Unidades EEAT	2.039.764,87
Consumo total EEAT	9.544.037,87

Fonte: Autora.

**Tabela 30-** Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 4.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Captação	6.684.204,20
Tratamento	2.705.119,56
Distribuição	9.544.037,87
Consumo total	18.933.361,63

Fonte: Autora

Cálculo do consumo de energia elétrica dos conjuntos elevatórios do sistema de abastecimento de água ano 2013 do Cenário 3.1:

**Tabela 31-** Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 3.1:

Estação elevatória	V (m <sup>3</sup> )	H <sub>t</sub> (mca)	n <sub>m</sub>	n <sub>b</sub>	N	E (Kwh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	39.885.080	103,3	0,96	0,85	0,81	13.784.254,46
Estação elevatória água tratada I e II	38.688.528	120			0,81	15.475.411,20

Fonte: Autora.

**Tabela 32-** Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento do Cenário 3.1.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	13.784.254,46
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	15.475.411,20
Estação Tratamento água (ETA)	5.823.866,31
Consumo total (EEAB/EEAT/ETA)	35.083.531,97

Fonte: Autora

**Tabela 33-** Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 3.1.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	15.475.411,20
Unidades EEAT	4.206.430,14
Consumo total EEAT	19.681.841,34

Fonte: Autora.

**Tabela 34-** Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 3.1.

Consumo de energia elétrica	E (kWh)
Captação	13.784.254,46
Tratamento	5.578.533,39
Distribuição	19.681.841,34
Consumo total	39.044.629,19

Fonte: Autora

Cálculo do consumo de energia elétrica dos conjuntos elevatórios do sistema de abastecimento de água ano 2013 do Cenário 4.1:

**Tabela 35 -** Cálculo do consumo de energia elétrica das Estações elevatórias do Cenário 4.1

Estação elevatória	V (m <sup>3</sup> )	H <sub>t</sub> (mca)	n <sub>m</sub>	n <sub>b</sub>	n	E (Kwh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	30.011.026	103,3	0,96	0,85	0,81	10.371.788,66
Estação elevatória água tratada I e II	27.081.950	120			0,81	10.832.780,09

Fonte: Autora.

**Tabela 36-** Consumo energia elétrica segregado da Unidade de Tratamento do Cenário 4.1.

Consumo de energia elétrica	E (KWh)
Estação elevatória água bruta (EEAB)	10.371.788,66
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	10.832.780,09
Estação Tratamento água (ETA)	4.220.573,64
Consumo total (EEAB/EEAT/ETA)	25.425.142,39

Fonte: Autora

**Tabela 37 -** Consumo energia elétrica total da distribuição do Cenário 4.1.

Consumo de energia elétrica	E (KWh)
Estação elevatória água tratada I e II (EEAT)	10.832.780,09
Unidades EEAT	2.944.498,99
Consumo total EEAT	13.777.279,08

Fonte: Autora.

**Tabela 38-** Consumo de energia elétrica das fases do SIAA-FSA do Cenário 4.1.

Consumo de energia elétrica	E (KWh)
Captação	10.371.788,66
Tratamento	4.197.497,19
Distribuição	13.777.279,08
Consumo total	28.346.564,93

Fonte: Autora

As entradas da quantidade de produtos consumida e dos tubos substituídos também foram proporcionais ao volume de água distribuído.

O ICV para os Cenários analisados estão apresentados nas Tabelas abaixo:

**Tabela 39 – ICV do Cenário 2:**

<b>CAPTAÇÃO</b>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>	<i>REE (KWh)</i>	<i>Correlação (KWh/m<sup>3</sup>)</i>	<i>KgCO<sub>2</sub>eq</i>	<i>Correlação (KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)</i>
Energia elétrica	10.265.319	KWh	16.424.510	0,77	1.888.819	0,09
Total			16.424.510	0,77	1.888.819	0,09
<b>TRATAMENTO</b>						
Eletricidade	4.154.409	KWh	6.647.054	0,31	764.411	0,04
Sulfato de Cobre	10.119	Kg	129.253	0,01	31.975	0,00
Sulfato de Alumínio	1.121.464	Kg	3.227.323	0,15	807.454	0,04
Cloro gasoso	170.426	Kg	838.886	0,04	218.146	0,01
Acido Fluossilicico	128.540	Kg	1.251.981	0,06	332.918	0,02
Cal Hidratada	276.362	Kg	419.605	0,02	232.144	0,01
Transporte	187.468	TKm	84.360	0,00	-	0,00
Total			12.598.462	0,59	2.387.047	0,11
<b>DISTRIBUIÇÃO</b>						
Eletricidade	13.634.340	KWh	21.814.944	1,02	2.508.719	0,12
Tubos	100.485	Kg	1.756.729	0,08	221.268	0,01
Transporte	46.223	TKm	20.800	0,00	-	0,00
Total			23.592.473	1,10	2.729.986	0,13
<b>TOTAL</b>			<b>52.615.445</b>	<b>2,45</b>	<b>7.005.852</b>	<b>0,33</b>

**Fonte:** Elaborado pela Autora.

Tabela 40 – ICV do Cenário 3:

<b>CAPTAÇÃO</b>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>	<i>REE (KWh)</i>	<i>Correlação</i>	<i>KgCO<sub>2</sub>eq</i>	<i>Correlação</i>
		<i>e</i>		<i>o</i>		<i>(KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)</i>
				<i>(KWh/m<sup>3</sup>)</i>		
Energia elétrica	9.548.863	KWh	15.278.181	1	1.756.991	0,08
Total			15.278.181	0,71	1.756.991	0,08
<b>TRATAMENTO</b>						
Eletricidade	3.864.457	KWh	6.183.130	0,29	711.060	0,03
Sulfato de Cobre	9.412	Kg	120.232	0,01	29.723	0,00
Sulfato de Alumínio	1.043.192	Kg	3.002.076	0,14	758.192	0,04
Cloro gasoso	158.532	Kg	780.337	0,04	203.174	0,01
Acido Fluossilicico	119.568	Kg	1.164.600	0,05	309.228	0,01
Cal Hidratada	257.074	Kg	390.319	0,02	217.022	0,01
Transporte	174.384	TKm	78.473	0,00	-	0,000
Total			11.765.831	0,55	2.234.556	0,10
<b>DISTRIBUIÇÃO</b>						
Eletricidade	13.634.340	KWh	21.814.944	1,02	2.508.719	0,12
Tubos	100.485	Kg	1.756.729	0,08	221.308	0,01
Transporte	46.223	TKm	20.800	0,00	-	0,000
Total			23.592.473	1,10	2.730.027	0,13
<b>TOTAL</b>			50.636.486	2,36	6.721.573	0,31

Fonte: Elaborado pela Autora.

**Tabela 41 – ICV do Cenário 4 :**

<b>CAPTAÇÃO</b>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>	<i>REE (KWh)</i>	<i>Correlação (KWh/m<sup>3</sup>)</i>	<i>KgCO<sub>2</sub>eq</i>	<i>Correlação (KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)</i>
Energia elétrica	6.684.204	KWh	10.694.727		1.229.894	0,06
Total			10.694.727	0,50	1.229.894	0,06
<b>TRATAMENTO</b>						
Eletricidade	2.705.120	KWh	4.328.191	0,20	497.742	0,02
Sulfato de Cobre	6.589	Kg	84.162	0,004	20.806	0,00
Sulfato de Alumínio	730.235	Kg	2.101.453	0,10	530.735	0,02
Cloro gasoso	110.972	Kg	546.236	0,03	142.222	0,01
Acido Fluossilicico	83.698	Kg	815.220	0,04	216.460	0,01
Cal Hidratada	179.951	Kg	273.223	0,01	151.915	0,01
Transporte	122.069	TKm	54.931	0,003	-	0
Total			8.203.417	0,38	1.559.879	0,07
<b>DISTRIBUIÇÃO</b>						
Eletricidade	9.544.038	KWh	15.270.461	0,71	1.756.103	0,08
Tubos	70.340	Kg	1.229.710	0,06	154.916	0,01
Transporte	32.354	TKm	14.559	0,00	-	0
Total			16.514.730	0,77	1.911.019	0,09
<b>TOTAL</b>			<b>35.412.874</b>	<b>1,65</b>	<b>4.700.792</b>	<b>0,22</b>

Fonte: Elaborado pela Autora

Tabela 42 – ICV do Cenário 3.1:

<b>CAPTAÇÃO</b>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>	<i>REE (KWh)</i>	<i>Correlação</i>	<i>kgCO<sub>2</sub>eq</i>	<i>Correlação</i>
		<i>e</i>		<i>o</i>		<i>(KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)</i>
				<i>(KWh/m<sup>3</sup>)</i>		
Energia elétrica	13.784.254	KWh	22.054.807	1,03	2.536.303	0,12
Total			22.054.807	1,03	2.536.303	0,12
<b>TRATAMENTO</b>						
Eletricidade	5.578.533	KWh	8.925.653	0,42	1.026.450	0,05
Sulfato de Cobre	13.587	Kg	173.561	0,01	42.907	0,00
Sulfato de Alumínio	1.505.900	Kg	4.333.645	0,20	1.094.488	0,05
Cloro gasoso	228.848	Kg	1.126.455	0,05	293.292	0,01
Acido Fluossilicico	172.603	Kg	1.681.158	0,08	446.386	0,02
Poliacrilamida	3.765	Kg	67.362	0,003	8.887	0,0004
Cal Hidratada	359.965	Kg	546.541	0,03	303.883	0,01
Transporte	249.393	TKm	112.227	0,01	-	0
Total			16.966.602	0,79	3.216.293	0,15
<b>DISTRIBUIÇÃO</b>						
Eletricidade	19.681.841	KWh	31.490.946	1,47	3.621.459	0,17
Tubos	100.485	Kg	1.756.729	0,08	221.308	0,01
Transporte	46.223	TKm	20.800	0,001	-	0
Total			33.268.476	1,55	3.842.767	0,18
<b>TOTAL</b>			<b>72.289.885</b>	<b>3,37</b>	<b>9.595.363</b>	<b>0,45</b>

Fonte: Elaborado pela Autora.

**Tabela 43 – ICV do Cenário 4.1**

<b>CAPTAÇÃO</b>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>	<i>REE (KWh)</i>	<i>Correlação (KWh/m<sup>3</sup>)</i>	<i>kgCO<sub>2</sub>eq</i>	<i>Correlação (KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)</i>
Energia elétrica	10.371.789	KWh	16.594.862	0,77	1.908.409	0,09
Total			16.594.862	0,77	1.908.409	0,09
<b>TRATAMENTO</b>						
Eletricidade	4.197.497	KWh	6.715.996	0,31	772.339	0,04
Sulfato de Cobre	10.223	Kg	130.593	0,01	32.285	0,00
Sulfato de Alumínio	1.133.095	Kg	3.260.796	0,15	823.534	0,04
Cloro gasoso	172.194	Kg	847.587	0,04	220.684	0,01
Acido Fluossilicico	129.873	Kg	1.264.966	0,06	335.877	0,02
Poliacrilamida	2.833	Kg	50.686	0,002	6.687	0,0003
Cal Hidratada	251.976	Kg	382.579	0,02	212.718	0,01
Transporte	183.689	TKm	82.660	0,00	-	0
Total			12.735.863	0,59	2.404.124	0,11
<b>DISTRIBUIÇÃO</b>						
Eletricidade	13.777.279	KWh	22.043.647	1,03	2.535.019	0,12
Tubos	70.340	Kg	1.229.719	0,06	154.917	0,01
Transporte	32.356	TKm	14.560	0,00	-	0
Total			23.287.926	1,09	2.689.936	0,13
<b>TOTAL</b>			<b>52.618.651</b>	<b>2,45</b>	<b>7.002.469</b>	<b>0,33</b>

Fonte: Elaborado pela Autora.

