**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

OSWALDO SANCHEZ JÚNIOR

ECOEFIÊNCIA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

**SÃO PAULO
2016**

(PÁGINA EM BRANCO)

OSWALDO SANCHEZ JÚNIOR

ECOEFIÊNCIA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Almeida Pacca.

Versão Corrigida

(versão original disponível na Biblioteca do Instituto de Energia e Ambiente e na Biblioteca Digital de teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Sanchez Júnior, Oswaldo.

Ecoeficiência em iluminação pública./ Oswaldo Sanchez Júnior;
orientador : Sergio Almeida Pacca. – São Paulo, 2016.

290 f.: il.; 30 cm.

Tese (Doutorado em Ciência) – Programa de Pós-Graduação em Energia
– Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

1. Iluminação pública. 2. Sustentabilidade. 3. Impactos ambientais -
avaliação. 4. Ecoeficiência .I. Título

Janus

Universidade de São Paulo

ATA DE DEFESA

Aluno: 106131 - 1460642 - 1 / Página 1 de 1

Ata de defesa pública de Tese do(a) Senhor(a) Oswaldo Sanchez Junior no Programa: Energia, do(a) Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

Aos 15 dias do mês de março de 2016, no(a) São Paulo realizou-se a Defesa da Tese do(a) Senhor(a) Oswaldo Sanchez Junior, apresentada para a obtenção do título de Doutor intitulada:

"Ecoeficiência em iluminação pública"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Sérgio Almeida Pacca	Presidente	EACH - USP	<u>aprovado</u>
Elvo Calixto Burini Junior	Titular	Servidor-IEE	<u>APROVADO</u>
José Carlos Barbieri	Titular	FGV-SP - Externo	<u>APROVADO</u>
Leandro José Morilhas	Titular	Externo	<u>APROVADO</u>
Claudia Echevengua Teixeira	Suplente	UNINOVE - Externo	<u>Aprovado</u>

Resultado Final: APROVADO

Parecer da Comissão Julgadora *

Eu, Adriana Fatima Pelege Adriana Fatima Pelege, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 15 dias do mês de março de 2016.

Elvo Calixto Burini Junior

José Carlos Barbieri

Leandro José Morilhas

Claudia Echevengua Teixeira

Sérgio Almeida Pacca
Presidente da Comissão Julgadora

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em _____ e, portanto, o(a) aluno(a) faz jus ao título de Doutor em Ciências obtido no Programa Energia.

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

**Universidade de São Paulo
Instituto de Energia e Ambiente**

Janus

CERTIFICADO DE DEFESA

CERTIFICO, para os devidos fins, que Sr(a). Oswaldo Sanchez Junior, número USP 1460642, defendeu em Sessão Pública, no dia 15 de março de 2016, no Programa de Energia do(a) Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, a Tese de Doutorado intitulada:

"Ecoeficiência em iluminação pública"

CERTIFICO, ainda, que o(a) aluno(a) faz jus ao título de Doutor em Ciências - Área: Energia, tendo sido a ata da Comissão Julgadora homologado pela Comissão de Pós-Graduação, em 24 de março de 2016.

São Paulo, 11 de abril de 2016.

**Secretaria do Programa
Pós-graduação em Energia**

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Oswaldo Sanchez, e à minha mãe, Maria do Carmo Sanchez. Vocês batalharam em condições adversas, num lugar desconhecido, e venceram!

À minha companheira, amada e sócia nesta empreitada, Ivete Rodrigues, com quem sempre pude contar.

À minha filha, Beatriz Rodrigues Sanchez, e ao meu filho, Leonardo Rodrigues Sanchez. Vocês nos dão muito orgulho e espero que nosso futuro comum seja pródigo. Podem ter a certeza de que tento melhorá-lo!

(PÁGINA EM BRANCO)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Sergio Almeida Pacca, pela paciência, prontidão e pelas perguntas. Sem elas estaria perdido!

Agradeço à minha companheira, Ivete Rodrigues, pela companhia, revisão do texto e principalmente pelo apoio na empreitada.

Agradeço ao Prof. Dr. Rodolfo Leandro de Faria Olivo, pela revisão das planilhas de fluxo de caixa para cálculo de VPL, TIR e PB.

Agradeço à colega pesquisadora Edna Baptista dos Santos Gubitoso, pelas revisões das referências e disponibilidade.

Agradeço ao amigo pesquisador Mário Leite Pereira Filho, pela amizade e apoio no âmbito das demandas concorrenciais. Aprendi e aprendo muito com você!

Agradeço aos colegas do LEO / IPT, Raul Leone Filho, Antonio Francisco Gentil Ferreira Junior, Kelvis do Nascimento Barros, Claudio de Araujo, José Geraldo de Vitro, Kleber Jesus de Oliveira, Rosangela Camargo Mazzo Dutra, João Henrique Angelo, Mario Fernando Barbosa, Marcelo Sanches Dias, Luiz Eduardo Joaquim, Pierre Goebel, Eduardo Berruezo, Jailma Tito da Silva, Gustavo Jose Lara Campos e Roberto Romano. Vocês são espetaculares e é um prazer trabalhar com vocês! Deixo também meus agradecimentos para as competentes Lilian Regina de Andrade e Emilia Gina Pellicciotta Silva, que sempre ajudaram a desembaraçar problemas criados por mim mesmo. Agradeço também aos companheiros Geraldo Antunes Pereira e Regis Norberto Carvalho, com quem sempre aprendo um pouquinho. Agradeço ao IPT, meus colegas atuais e ex-colegas de trabalho, por sua companhia em nossa casa nos últimos 35 anos. O trabalho em seus laboratórios me deu muitas qualidades e conquistas. Também rendeu, e rende, muitos momentos de aprendizado.

Agradeço aos professores, funcionários e colegas alunos do Programa de Energia do Instituto de Energia e Ambiente - IEE da USP e à secretaria da Pós-Graduação. Aprendi muito com vocês. Espero continuar a gozar do acesso a este centro de excelência!

Agradeço ao Paulo de Tarso Carvalhaes, que muito me influenciou para o direcionamento desta pesquisa e ao Ricardo Henrique dos Santos, que acreditou na minha evolução.

Por momentos muito antigos, mas muito significativos para mim, agradeço ao Prof. Dr. Edson Gomes da Poli, ao pesquisador Paulo Evaristo da Silva Chaves (*in memoriam*) e à Ruth Yamada Lopes Trigo. Vocês foram fundamentais.

(PÁGINA EM BRANCO)

EPIGRAFE

“Senta aqui neste banco
Pertinho de mim
Vamos conversar
Foi que você tem coragem
De olhar nos meus olhos
E me encarar

Agora chegou sua hora
Chegou sua vez
Você vai me pagar
Eu sou a própria verdade

Chegou o momento
Eu vou te julgar
Pedi pra você não matar
Nem para roubar
Roubou e matou

Pedi pra você agasalhar
A quem tinha frio
Você não agasalhou
Pedi para não levantar
Falso Testemunho
Você levantou

A vida de muitos coitados
Você Destruiu
Você arrasou
Meu pai te deu inteligência
Para salvar vidas
Você não salvou

Em vez de curar os enfermos
Armas nucleares você fabricou
Usando sua capacidade
Você destruiu, você se condenou
A sua ganância foi tanta
Que a você mesmo você exterminou

O avião que você inventou
Foi para levar a paz e a esperança
Não pra matar seu irmão
Nem para jogar bomba nas
Minhas crianças

Foi você que causou essa guerra
Destruiu a terra de seus ancestrais
Você é chamado de homem
Mas é o pior dos animais
Agora que está
Acabado pra sempre

Vou ver se você é culpado
Ou inocente
Você é um monstro
Covarde e profano
É um grão de areia
Frente ao oceano

Seu ouro falou alto
Você tudo comprou
Pisou nos mandamentos
Que a lei santa ensinou

A mim você não compra
Com o dinheiro seu
Eu sou Jesus Cristo,
O filho de Deus.”

**Leo Canhoto e Robertinho em
O Último Julgamento, 1983, RCA.**

(PÁGINA EM BRANCO)

RESUMO

SANCHEZ JÚNIOR, Oswaldo. Ecoeficiência em iluminação pública. 2016. f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Na busca por eficiência energética em serviços e produtos de iluminação pública, a maioria das iniciativas concentra-se em procedimentos voltados estritamente à substituição de tecnologias convencionais por outras mais energeticamente eficientes, considerando somente a fase de operação, onde há mais consumo de energia, e o investimento inicial. No entanto, verifica-se que há uma carência de estudos dedicados à análise da sustentabilidade urbana, em particular com o foco na ecoeficiência das iniciativas, em que pese o crescente interesse das empresas por produtos economicamente e ambientalmente sustentáveis. Portanto, a qualidade do serviço de iluminação pública quanto à sua ecoeficiência (componente importante da sustentabilidade urbana) pode ser desenvolvida utilizando-se o pensamento de ciclo de vida de forma simplificada para avaliar tanto economicamente quanto ambientalmente o empreendimento, de modo a viabilizar a comparação de tecnologias, desenvolvimento de projetos e a tomada de decisão para gestores. O objetivo do presente trabalho é propor um modelo analítico que permita, tanto os desenvolvedores de produtos e projetos como a gestores de serviços de Iluminação Pública – IP, gerenciar seus recursos para garantir maior ecoeficiência na transição para tecnologias mais avançadas (como o uso de LEDs em produtos), que mitiguem os impactos ambientais e o custo desta transição. Como método, utilizou-se uma abordagem qualitativa, se aplicou a técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para avaliação ambiental e econômica de produtos e instalações para IP baseados na tecnologia convencional e produtos com tecnologia LED. Com isso obteve-se uma medida da ecoeficiência associada a diferentes soluções. Na sequência, as informações foram analisadas, comparadas e um conjunto de parâmetros foi definido para constituir um modelo para tomada de decisão. Em particular, foi dada ênfase à qualidade da iluminação na definição da Unidade Funcional. Todas as fases do ciclo de vida foram analisadas (extração de matérias primas, fabricação de componentes, integração e fabricação de luminárias, manutenção e descarte). Como resultados, foram obtidos critérios mínimos de comparação para instalações de Iluminação Pública a LED; identificação dos impactos de novas tecnologias (como uso da tecnologia LED) em termos de emissões de gases de efeito estufa (CO₂ equivalentes) do setor de IP; identificação dos impactos de novas tecnologias (como uso da tecnologia LED) no Custo do Ciclo de Vida de instalações para IP e foi desenvolvido um Modelo de Análise para integrar o desempenho econômico ao ambiental (ecoefficiência) de produtos e instalações de IP.

Palavras-chave: ecoeficiência, sustentabilidade urbana, Avaliação do Ciclo de Vida, Avaliação do Custo de Ciclo de Vida, Método GHG Protocol, iluminação pública, avaliação de impactos ambientais.

ABSTRACT

SANCHEZ JUNIOR, Oswaldo. Eco-efficiency in street lighting. 2016. f. Thesis (Doctorate in Science) - Graduate Program in Energy - Institute for Energy and Environment at the University of São Paulo, São Paulo, 2016.

Introduction: in the search for energy efficiency services and street lighting products, most of the initiatives focuses on procedures aimed strictly to the replacement of conventional technologies by more energy efficient ones considering only their use phase. However, it turns out that there is a lack of studies dedicated to analyzing this field with a focus on eco-efficiency initiatives, despite the growing interest of companies by products economically and environmentally sustainable. Therefore, the quality of the street lighting service for their eco-efficiency can be developed using the Life Cycle Assessment (LCA) technique in a systematic and objective manner, in order to facilitate the comparison of technologies, project development and decision making for managers.

Objective: To generate an analytical model that allows both product and project developers and managers of street lighting services to manage its resources to ensure greater eco-efficiency in the transition to more advanced technologies (such as the use of LEDs in products) that mitigate the environmental impacts and the cost of this transition.

Method: it was applied the LCA for environmental and economic evaluation of products and street lighting facilities based on conventional technology and products with LED technology. Further, the information was analyzed, compared and a set of parameters has been set to provide a model for decision-making. In particular, it was given emphasis to the quality of lighting in the definition of a functional unit. Every stage of the life cycle was analyzed (extraction of raw materials, component manufacturing, integration and manufacturing lighting fixtures, maintenance and disposal).

Results: we obtained minimum criteria of comparison for Street Lighting LED installations, identifying the impact of new technologies (such as use of LED technology) in the carbon footprint of the street lighting industry. Besides, we identified the impact of new technologies (such as use of LED technology) in the cost of life cycle of street lighting facilities. Lastly, it was developed an Analysis Model to integrate environmental economic performance (eco-efficiency) products and street lighting facilities.

Keywords: urban sustainability, eco-efficiency, LCA, LCC, street lighting, GHG protocol, environmental impact assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Eixos Teóricos e suas relações.....	35
Figura 2 – Avaliação da ecoeficiência de acordo com a norma ISO 14045:2012.....	63
Figura 3 – Histograma de trabalhos publicados.	70
Figura 4 – Classificação porcentual dos trabalhos segundo o escopo da abordagem.	71
Figura 5 – Classificação porcentual dos trabalhos segundo a perspectiva da abordagem.	72
Figura 6 – Balanço energético estadual 2014 (10E+3 t/OE).....	82
Figura 7 – Evolução das tecnologias de iluminação.....	84
Figura 8 – Tecnologias de Iluminação e nichos de mercados globais.....	85
Figura 9 – Representação esquemática da associação entre parâmetros do ambiente luminoso e da sensibilidade humana que influenciam a desempenho e a produtividade humana.....	89
Figura 10 – As relações entre luz e iluminação, desempenho de tarefas, saúde e bem-estar...91	
Figura 11 – Instalação para iluminação pública com luminárias impróprias para o espaçamento dos postes e altura de montagem (abertura do feixe insuficiente).....	100
Figura 12 – Instalação para iluminação pública com luminárias adequadas para o espaçamento dos postes e altura de montagem (lâmpadas idênticas mas luminárias com refletor e refrator com projeto adaptado).	100
Figura 13 – Estrutura para aplicação de uma ACV baseada em processos.....	102
Figura 14 – Evolução de publicações em ACV no setor de iluminação.	107
Figura 15 – Distribuição dos trabalhos analisados por área de aplicação dos produtos e serviços de iluminação analisados.	108
Figura 16 – Distribuição de trabalhos por técnica utilizada.	109
Figura 17 – Parâmetros utilizados na UF das ACVs publicadas.....	110
Figura 18 – Estratégia geral utilizada para o trabalho.	129
Figura 19 – Esquema para realização da ACCV.	133
Figura 20 – Roteiro proposto para a Fase 1 de ACVs na área de iluminação.	140

LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 21 – Escopo da sistema analisado.	142
Figura 22 – Roteiro proposto para análise da ecoeficiência.	147
Figura 23 – Avaliação comparativa da ecoeficiência das propostas de PPP (sem externalidades).	162
Figura 24 – Avaliação comparativa da ecoeficiência das propostas de PPP, com segregação de regiões. (com externalidades).	164
Figura 25 – Ecoeficiência para o cenário 1.	166
Figura 26 – Ecoeficiência para o cenário 2.	168
Figura 27 – Ecoeficiência para o cenário 3.	170
Figura 28 – Emissões de CO2 per Capta por PIB per Capta – Comparativo São Paulo, Brasil e demais países (137, Base:2008).....	218

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo por classe - Brasil em GWh.....	80
Tabela 2 – Custo da Energia Conservada por Uso Final.	81
Tabela 3 – Perfil do parque de Iluminação Pública no Brasil em 2012.	83
Tabela 4 – Comparação de Luminárias.	96
Tabela 5 – Inventário da infraestrutura de iluminação.	154
Tabela 6 – Parâmetros para as análises econômicas e ambientais.	155
Tabela 7 – Parâmetros utilizados para avaliação ambiental e econômica associados às entradas e saídas do ciclo de vida do produto.....	157
Tabela 8 – Aspectos econômicos associados aos empreendimentos propostos.	159
Tabela 9 – Aspectos econômicos associados aos empreendimentos propostos, sem a valoração das entradas e saídas ambientais.....	160
Tabela 10 – Aspectos ambientais das propostas pelo GHG Protocol.....	161
Tabela 11 – Planilha de Inventário da linha de base ou situação atual.	227
Tabela 12 – Planilha de dados desenvolvida para suporte à análise econômica e ambiental.	228
Tabela 13 – Códigos para o fluxo de caixa.	233
Tabela 14 – Parâmetros da proposta P1.....	234
Tabela 15 – Inventário da solução proposta P1.....	236
Tabela 16 – Fluxo de caixa da proposta P1.	237
Tabela 17 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P1.	238
Tabela 18 – Parâmetros da proposta P2.....	239
Tabela 19 – Inventário da solução proposta P2.	241
Tabela 20 – Fluxo de caixa da proposta P2.	242
Tabela 21 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P2.	243
Tabela 22 – Parâmetros da proposta P3.....	244
Tabela 23 – Inventário da solução proposta P3.	246
Tabela 24 – Fluxo de caixa da proposta P3.	247

LISTA DE TABELAS (continuação)

Tabela 25 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P3.	248
Tabela 26 – Parâmetros da proposta P4.....	249
Tabela 27 – Inventário da solução proposta P4.....	251
Tabela 28 – Fluxo de caixa da proposta P4.....	252
Tabela 29 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P4.	253
Tabela 30 – Parâmetros da proposta P5.....	254
Tabela 31 – Inventário da solução proposta P5.....	256
Tabela 32 – Fluxo de caixa da proposta P5.....	257
Tabela 33 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P5.	258
Tabela 34 – Parâmetros da proposta P6.....	259
Tabela 35 – Inventário da solução proposta P6.....	261
Tabela 36 – Fluxo de caixa da proposta P6.....	262
Tabela 37 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P6.	263
Tabela 38 – Parâmetros da proposta P7.....	264
Tabela 39 – Inventário da solução proposta P7.....	266
Tabela 40 – Fluxo de caixa da proposta P7.....	267
Tabela 41 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P7.	268
Tabela 42 – Parâmetros da proposta P8.....	269
Tabela 43 – Inventário da solução proposta P8.....	271
Tabela 44 – Fluxo de caixa da proposta P8.....	272
Tabela 45 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P8.	273

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Trabalhos de escopo público e perspectiva da aplicação, em ordem cronológica.	73
Quadro 2 – Levantamento da publicações sobre ecoeficiência em iluminação.	76
Quadro 3 – Projetos de demonstração do Programa GATEWAY do USDOE.	78
Quadro 4 – Parâmetros de Qualidade da Iluminação para definição da Unidade Funcional. ..	92
Quadro 5 – Como ACV e ACCV diferem em propósito e abordagem.	104
Quadro 6 – Resumo da revisão bibliográfica.	125
Quadro 7 – Matriz dos objetivos, questões de pesquisa e técnicas utilizadas.	130
Quadro 8 – Comparação de Métodos para análise econômica.	137
Quadro 9 – Escopos abordados nos estudos.	151
Quadro 10 – Alteração de parâmetros para cenário 1.	165
Quadro 11 – Alteração de parâmetros para cenário 2.	167
Quadro 12 – Alteração de parâmetros para cenário 3.	169
Quadro 13 – Levantamento dos trabalhos sobre qualidade em iluminação.	205
Quadro 14 – Levantamento dos Trabalhos de ACV em Iluminação.	211
Quadro 15 – Extrato de Planilhas do GHG Protocol Brasil, tela de entrada.	230

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Calculo do VPL.	134
Equação 2 – Condição para cálculo da TIR.	135
Equação 3 – Cálculo do Payback – PB.....	136

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Levantamento dos trabalhos sobre qualidade em iluminação (Quadro 13).	204
APÊNDICE B - Levantamento dos Trabalhos de ACV em Iluminação (Quadro 14).	206
APÊNDICE C - O caso da PPP de São Paulo.	212
APÊNDICE D - Inventários para o aspecto ambiental emissões de GEE.....	217
APÊNDICE E - Planilha de Inventário da linha de base ou situação atual (Tabela 11).	227
APÊNDICE F - Planilha de dados desenvolvida para suporte à análise econômica e ambiental (Tabela 12).....	228
APÊNDICE G - Extrato de Planilhas do GHG Protocol Brasil, tela de entrada (Quadro 15).	229
APÊNDICE H - Resultados da Aplicação do Protocolo.	231

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - Inventário da infraestrutura de iluminação da cidade de São Paulo.....	275
--	-----

LISTA DE SIGLAS

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

ACCV – Avaliação do Custo do Ciclo de Vida

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BMF&BOVESPA – Companhia Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros

CIE – International Commission on Illumination

CMDS – Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável

CNI – Confederação Nacional das Indústrias

COP – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas

DOE – Departamento de Energia dos EUA

EDIP – Environmental Development of Industrial Products

EI99 – Eco-indicator Versão 99

EIO – LCA – Economic Input-Output Life Cycle Assessment

EPE – Empresa de Planejamento Energético

EUA – Estados Unidos da América

FDE – Fator de Disponibilidade

FDI – Fator de Desempenho

GEE – Gases de Efeito Estufa

GHG – Green House Gases

HIDL – High Intensity Discharge Lamp

IEA – International Energy Agency

IEE – Instituto de Energia e Ambiente da USP

ILUME – Departamento de Iluminação Pública da Cidade de São Paulo

IP – Iluminação Pública

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

ISO – International Organization for Standardization

LED – Light Emission Diode

MEE – Medidas de Eficiência Energética

PA – Procedimento Administrativo

PB – Pay Back

LISTA DE SIGLAS (continuação)

PIB – Produto Interno Bruto

PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo

PPA – Plano Plurianual do Governo

PPPs – Parcerias Público Privadas

SPE – Sociedade de Propósito Específico

TCM – Tribunal de Contas do Município

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxxa Mínima de Atratividade

TRACI – Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts

UF – Unidade Funcional

UNEP – Programa Ambiental das Nações Unidas

USDOE – United States Department Of Energy

VPL – Valor Presente Líquido

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

WRI – World Resources Institute

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Contextualização do Estudo e Questão de Pesquisa	25
1.2	Objetivo	30
1.3	Justificativa e Contribuições do Estudo	31
1.4	Estrutura.....	34
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	35
2.1	Sustentabilidade Urbana	37
2.1.1	Avaliação de Cidades Sustentáveis	37
2.1.2	Diagnósticos em Busca de Soluções.....	44
2.1.3	A Dificuldade de se Passar à Prática	49
2.2	Ecoeficiência e Suas Aplicações.....	53
2.3	Sustentabilidade Urbana e Indicadores de Ecoeficiência	64
2.4	Uso do Conceito de Ecoeficiência no Setor Público	69
2.5	Ecoeficiência e Gestão da Iluminação Pública	74
2.6	O serviço de Iluminação Pública	79
2.6.1	A Importância do Uso final de Energia em IP	80
2.6.2	Tecnologias em Evolução	83
2.6.3	Aspectos legais e Transformação do Mercado.....	85
2.6.4	A qualidade da Iluminação para Usuários.....	86
2.6.5	Eficiência Energética em Serviços de IP	94
2.7	Ecoeficiência com Uso de ACVs em IP	101
2.7.1	Apresentação da Técnica	101
2.7.2	ACV e ACCV	103
2.7.3	Trabalhos Publicados com ACVs e ACCVs em Iluminação	105
2.8	Utilização de Cenários para Tomada de Decisões	112
2.9	Considerações a Respeito do Referencial Teórico	120

SUMÁRIO (continuação)

3	MÉTODO	126
3.1	Natureza da Pesquisa	126
3.2	Fontes dos Dados	127
3.3	Estratégias Metodológicas do Estudo	128
3.4	Modelo Conceitual do Estudo.....	129
3.5	Avaliação Econômica	132
3.6	Avaliação Ambiental	138
3.7	Definição de uma Unidade Funcional Adequada	139
3.8	Avaliação de Cenários para Tomada de Decisão.....	143
3.9	Protocolo Proposto.....	144
3.10	Validação do Protocolo	148
4	RESULTADOS	149
4.1	As 11 Propostas de PPP para IP de São Paulo.....	149
4.2	Inventários para a UF Definida.....	154
4.3	Aplicação do Protocolo Proposto	155
4.3.1	Avaliação Econômica	157
4.3.2	Avaliação Ambiental	158
4.4	Dados Resultantes da Aplicação do Protocolo Proposto	158
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	159
5.1	Comparação de Desempenhos Econômicos	159
5.2	Comparação de Desempenhos Ambientais.....	161
5.3	Análise da Ecoeficiência das Propostas de PPP	162
5.3.1	Cenário 1: Ecodesenvolvimento	164
5.3.2	Cenário 2: Deterioração Econômica	167
5.3.3	Cenário 3: Modernização a Serviço do Usuário	169
5.4	Subsídios para Decisões do Gestor do Serviço.....	171
6	CONCLUSÕES	173
	REFERÊNCIAS	177
	APÊNDICES	203
	ANEXOS	274

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho insere-se na intersecção entre sustentabilidade urbana, ecoeficiência e iluminação pública (IP). É sabido que esse último é um serviço que favorece o exercício da cidadania, na medida em que permite à população usufruir e apropriar-se do espaço público com maior segurança. No entanto, sua oferta ao cidadão possui custos econômicos e ambientais associados que podem ser mitigados por investimentos em projetos ecoeficientes, que promovam não apenas a redução do consumo de energia elétrica, mas também eliminem tecnologias ambientalmente nocivas, reduzam os custos de manutenção, possibilitem a ampliação da oferta do serviço e melhorem a qualidade da iluminação pública oferecida aos munícipes.

Esse capítulo destina-se a explorar o contexto acima descrito, os objetivos, as justificativas e contribuições do estudo, além de apresentar a estrutura geral do trabalho.

1.1 Contextualização do Estudo e Questão de Pesquisa

A elaboração e publicação da *Carta da Terra*, documento idealizado pela ONU em 1987 e finalizado no ano de 2.000 (BRASIL, 2015c; EARTH CHAPTER INTERNATIONAL, 2015), estabeleceu um novo patamar no debate sobre a governança ambiental e a sustentabilidade urbana no âmbito da sociedade atual. Além de reconhecer e valorizar todo o debate realizado até então, explicitou alguns desafios que ainda hoje são enfrentados:

A vida muitas vezes envolve tensões entre valores importantes. Isto pode significar escolhas difíceis. Porém, necessitamos encontrar caminhos para harmonizar a diversidade com a unidade, o exercício da liberdade com o bem comum, objetivos de curto prazo com metas de longo prazo. Todo indivíduo, família, organização e comunidade têm um papel vital a desempenhar. As artes, as ciências, as religiões, as instituições educativas, os meios de comunicação, as empresas, as organizações não governamentais e os governos são todos chamados a oferecer uma liderança criativa. A parceria entre governo, sociedade civil e empresas é essencial para uma governabilidade efetiva [...].(EARTH COUNCIL, 2000, p. 5)

Os trabalhos acadêmicos e os documentos governamentais que se seguiram à *Carta da Terra* perseguem os princípios consignados nos quatro temas por ela abordados: Respeitar e Cuidar da Comunidade da Vida; Integridade Ecológica; Justiça Social e Econômica; Democracia, Não Violência e Paz.

A referida publicação acabou constituindo uma entidade internacional independente (*Earth Charter Commission*) da qual o Brasil é afiliado. Esta entidade é preocupada com a transição para modos de vida e desenvolvimento humano sustentáveis, incluindo o apoio ao desenvolvimento de cidades sustentáveis. A integridade ecológica do planeta é tratada como tema importante, no entanto, a *Carta da Terra* reconhece que os objetivos de proteção ambiental, erradicação da pobreza, o desenvolvimento econômico equitativo, respeito pelos direitos humanos e democracia e a paz entre os povos são interdependentes e indivisíveis. Ela fornece, portanto, um novo quadro ético, inclusivo e integrado para orientar a transição para um futuro sustentável (EARTH CHAPTER INTERNATIONAL, 2015).

Um novo capítulo deste debate ocorreu na 21ª Sessão da Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (COP21 / CMP11) e eventos paralelos realizados em dezembro de 2015, em Paris, na França. Nestes eventos, muitos compromissos foram pactuados, inclusive vários países já assumiram metas de governança ambiental, dentre elas a redução de impactos ambientais associados às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). O Brasil, objetivando a liderança em algumas ações, declarou suas metas e participou ativamente do processo (BRASIL, 2015a).

Ainda que seja difícil contra-argumentar os princípios da *Carta da Terra*, sua implementação está longe de contar com soluções consensuais entre as mais de 6.000 organizações internacionais e governos que buscam encontrar caminhos para manter suas relações comerciais, promover o desenvolvimento de suas sociedades e, ao mesmo tempo, respeitar os princípios desta nova ética (EARTH CHAPTER INTERNATIONAL, 2015).

O assunto extrapolou a esfera das organizações acadêmicas, governamentais e comerciais, chegando recentemente a merecer uma citação na última encíclica do Papa Francisco, que reconhece a dificuldade atual de se perseguir os princípios ali consignados e apela para a necessidade de se buscar um “novo início”:

A Carta da Terra convidava-nos, a todos, a começar de novo deixando para trás uma etapa de autodestruição, mas ainda não desenvolvemos uma consciência universal que o torne possível. Por isso, atrevo-me a propor de novo aquele considerável desafio: como nunca antes na história, o destino comum obriga-nos a procurar um novo início [...]. Que o nosso seja um tempo que se recorde pelo despertar duma nova reverência face à vida, pela firme resolução de alcançar a sustentabilidade, pela intensificação da luta em prol da justiça e da paz e pela jubilosa celebração da vida [...] (BERGOGLIO, 2015, p. 57).

Neste contexto, ganham relevância conceitos importantes cuja aplicabilidade tem oferecido oportunidades para o desenvolvimento sustentável amplamente reconhecidas, devido ao acúmulo e à troca de conhecimentos sobre suas boas práticas. É o caso do conceito de ecoeficiência, definido como a produção e entrega de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam às necessidades humanas, promovendo qualidade de vida, ao mesmo tempo em que, progressivamente, são reduzidos os impactos ambientais e a intensidade do consumo de recursos naturais em todo o ciclo de vida, em consonância com a capacidade estimada da terra em prover estes recursos e absorver os impactos (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 1996; 2000a).

A ecoeficiência pode servir de base para as organizações desenvolverem e implementarem estratégias voltadas à sustentabilidade. As estratégias podem focar em inovações tecnológicas e sociais, na transparência, na contabilização ambiental e na cooperação com os demais segmentos da sociedade. Comumente apresentada como um conceito do ambiente de negócios, aplicável desde o desenvolvimento de produtos e serviços até a sua distribuição, a ecoeficiência também pode ser empregada pelos governantes como estratégia para o desenvolvimento sustentável e para a promoção da sustentabilidade urbana. Mediante a aplicação desse conceito, é possível fomentar a inovação, estabelecer parcerias e difusão de conhecimento para diversos segmentos da sociedade, visando o progresso, o crescimento da economia e a melhoria da qualidade de vida (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMMES, 2001a).

Embora a produção acadêmica a respeito da utilização da ecoeficiência no setor público ainda seja escassa, como se verá mais adiante, conforme demonstrará o capítulo de referencial teórico, identificam-se pelo menos quatro iniciativas promotoras da sustentabilidade que podem por ela ser adotadas: (a) eliminação de subsídios danosos ao meio ambiente; (b) substituição de impostos sobre o lucro por impostos relacionadas ao uso de recursos naturais e à poluição; (c) implementação de instrumentos econômicos que incentivem a proteção ao meio ambiente e (d)

promoção de iniciativas ambientais voluntárias - acordos com múltiplos segmentos (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2000b; UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMMES, 2001b).

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) considera que a atividade econômica usualmente produz efeitos indiretos (externalidades negativas) que provocam perdas de bem-estar para os indivíduos afetados (BRASIL, 2015b). Uma das formas de corrigir esses efeitos adversos é a utilização de Instrumentos Econômicos (IEs), cuja função principal é internalizar custos externos nas estruturas de produção e consumo da economia. Os IEs representam uma estratégia de intervenção pública complementar aos tradicionais mecanismos de comando e controle, que buscam aperfeiçoar o desempenho da gestão e sustentabilidade ambiental, influenciando o comportamento dos agentes econômicos e corrigindo as falhas de mercado.

As políticas de compensação ambiental utilizadas pelo MMA são exemplos de IEs fundamentadas no princípio do poluidor-pagador, o qual estabelece que os custos e as responsabilidades resultantes da exploração ambiental dentro do processo produtivo deverão ser arcados pelo agente causador do dano. A compensação ambiental é um mecanismo financeiro que busca orientar, via preços, a valorização, pelos agentes econômicos, dos bens e serviços ambientais de acordo com sua real escassez e seu custo de oportunidade social. Outro IE considerado pelo MMA é o Fomento. Este é uma atividade institucional que utiliza instrumentos fiscais, tributários e creditícios diversos por meio dos quais os agentes econômicos se dispõem, em contextos específicos, a desenvolver atividades produtivas de bens e serviços, inclusive de geração de conhecimentos e tecnologias para a sustentabilidade (BRASIL, 2015b).

Tradicionalmente o setor público, especificamente os governos municipais, tem pouca liberdade na gestão orçamentária, mas tem responsabilidade e autonomia de gestão suficientes para explorar uma oportunidade de internalização de alguns custos externos das estruturas de produção e consumo de recursos escassos da economia, dentre eles a energia elétrica.

A iluminação pública (IP) é um serviço que oferece grande oportunidade de utilização do conceito de ecoeficiência. Embora de alto interesse devido aos seus impactos na segurança do trânsito, diminuição da criminalidade, aumento da qualidade de vida e melhoria da imagem das cidades, tem merecido pouca atenção no que tange ao desenvolvimento de ferramentas analíticas que possam orientar o processo de tomada de decisão dos agentes responsáveis pela

oferta do serviço à população. Além disso, a IP representa uma parcela não desprezível do consumo total de energia elétrica e, portanto, merece ser alvo de pesquisas que busquem soluções técnicas de qualidade, economicamente viáveis e ambientalmente corretas.

Frente à necessidade e oportunidade de estudos sobre ecoeficiência em iluminação pública, surge então a questão de pesquisa do presente estudo: **como avaliar o desempenho ambiental e econômico de projetos de iluminação pública a partir do conceito de ecoeficiência?**

A perspectiva adotada é a de que a avaliação da ecoeficiência e a elaboração de cenários de projetos de IP permitem ao tomador de decisão identificar as concepções que melhor atendem às suas necessidades, com argumentos robustos, a partir de uma análise sistematizada que considere todo o ciclo de vida da infraestrutura sob análise. Responder à questão de pesquisa, portanto, poderá auxiliar o gestor público, durante o processo decisório de avaliação e seleção de empreendimentos de IP, a proceder com mais transparência, rastreabilidade e reprodutibilidade.

1.2 Objetivo

À luz do contexto e da questão de pesquisa apresentada, o objetivo geral deste estudo é **identificar, analisar e avaliar parâmetros técnicos que definam o grau de ecoeficiência (parâmetros econômicos e ambientais) dos projetos de IP, a fim de permitir a distinção e orientar a escolha entre diferentes alternativas tecnológicas sob a perspectiva do usuário.**

Para atingir o objetivo principal, a pesquisa foi desdobrada em três etapas, cada uma com seus objetivos específicos:

- 1) Modelamento da análise:
 - Estudar técnicas aplicáveis para ecoeficiência, tais como emissões de GEE e VPL;
 - Definir ferramentas de análise ambiental e econômica e proposta de protocolo.
- 2) Estudo de uma aplicação prática:
 - Aplicar proposta de protocolo.
- 3) Validação do protocolo proposto:
 - Avaliar aplicabilidade e sensibilidade do modelo;
 - Gerar subsídios para gestores do serviço de IP, permitindo a proposição de metas e parâmetros econômicos e ambientais.

1.3 Justificativa e Contribuições do Estudo

A noção de sustentabilidade na gestão pública tem sido incluída em alguns marcos regulatórios recentes, tais como o Programa Nacional de Resíduos Sólidos e o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS) do MMA. A Lei nº 12.349/2010, que altera a Lei nº 8.666/1993 (Normas para licitações e contratos da Administração Pública) coloca como um dos objetivos das licitações públicas a promoção do desenvolvimento nacional sustentável. A Instrução Normativa SLTI/MP nº 1/2010 introduz as Compras Públicas Sustentáveis (CPS) no poder Executivo Federal, enquanto o Decreto nº 7.746/2012 estabelece critérios para as mesmas (BRASIL, 2010).

No que diz respeito aos serviços de IP, a Emenda Constitucional nº 39, de 19/12/2002, define que os Municípios e o Distrito Federal poderão instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública (BRASIL, 2015d). Por outro lado, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) determinou em sua resolução 587/13 de 10/12/13, o prazo de 31/12/14 para que as concessionárias de energia repassem para os municípios brasileiros os ativos e a responsabilidade pela gestão dos serviços de IP. Portanto, os cerca de 5.570 municípios brasileiros, dentre eles os 645 municípios paulistas, deverão se responsabilizar pela implementação de sistemas de gestão de IP ou subcontratar prepostos para sua gestão, atualização, melhoria e expansão.

A forma encontrada pelos municípios para receber e administrar a gestão da iluminação pública acabou sendo a subcontratação das próprias concessionárias de energia, por meio da formação de cooperativas (principalmente municípios com parque de iluminação pequeno) ou pela abertura de licitações para contratação de Parcerias Público Privadas (PPPs), em situações onde a arrecadação com o serviço compense os custos.

Não obstante os vários marcos regulatórios anteriormente citados considerarem a questão da sustentabilidade na gestão pública, a lei que disciplina as PPPs não é enfática quanto ao tema. Dentre os sete critérios de contratação, apenas um não é econômico. Mesmo assim, é bastante genérico ao se referir à “*melhor proposta técnica*”. Além desta questão, o lançamento, a análise e as decisões acerca das PPPs tornou-se um processo oneroso e complexo, sem um modelo de análise que possa avaliar as propostas de IP sobre bases justas em se tratando da promoção da ecoeficiência em empreendimentos públicos.

Outro aspecto que torna o estudo dos serviços de IP importante é que praticamente todas as tecnologias neste segmento utilizam a conversão de energia elétrica para atender às funções a que se destinam. Neste sentido, este assunto é de interesse nacional, uma vez que impacta a matriz energética (serviços de iluminação em todos os nichos consomem cerca de 20% da energia elétrica gerada, transmitida e distribuída, 3% somente em IP) e amplia a necessidade de se prever a oferta futura de energia, um recurso escasso, para este tipo de uso final. Esta preocupação tem sido citada nos Planos Plurianuais do governo federal e de governos estaduais, tanto por conta da demanda de energia elétrica quanto pela importância deste tipo de serviço público. Por exemplo, segundo diagnóstico do Plano Plurianual do Governo do Estado de São Paulo em vigência até 2015 (PPA 2012-2015, Lei nº 14.676/2011), um dos desafios do território paulista e uma de suas principais vulnerabilidades é o percentual elevado de domicílios localizados em áreas urbanas onde não há iluminação pública adequada.

No caso do município de São Paulo, para citar um dos mais importantes parques de IP do Brasil, a gestão da Iluminação Pública (responsabilidade da Secretaria Municipal de Serviços e do ILUME) recém lançou um edital internacional de contratação de PPP cujo objetivo é oferecer a Concessão do Serviço de Iluminação Pública pelo critério do menor valor da contraprestação mensal máxima a ser paga pelo poder concedente, ou seja, menor valor máximo devido mensalmente à concessionária. Não são considerados os eventuais descontos decorrentes da incidência do Fator de Disponibilidade e do Fator de Desempenho (definidos no edital) sobre a remuneração dos serviços prestados, na forma do contrato e seus anexos. Portanto, um critério estritamente econômico. É importante notar que o regime de PPPs se diferencia do regime de licitações regulado pela Lei nº 8666/93. A Lei das PPPs permite, em tese, uma expansão do conceito de “melhor proposta técnica” para incorporar requisitos não financeiros, tais como as emissões de carbono equivalentes. Porém, essa abertura não vem sendo utilizada, dada a inexistência de protocolos bem estabelecidos para tal avaliação técnica.

Conforme abordagem defendida e incentivada pelo MMA, no que diz respeito às estratégias de intervenção pública complementares aos tradicionais mecanismos de comando e controle, há que se buscar aperfeiçoar o desempenho da gestão e sustentabilidade ambiental sob responsabilidade do gestor público, em todas as frentes em que isso é possível. E o gestor tem meios de fazê-lo de forma transparente e amparada em métodos e técnicas robustas de análise (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015).

No que diz respeito à ação dos gestores públicos para a gestão do serviço de IP, dado o momento crítico atual, falta um embasamento que permita uma abordagem mais ampla dos aspectos sob sua responsabilidade, tanto no que diz respeito aos aspectos econômicos quanto aos aspectos ambientais, considerados da alçada da gestão dos governos municipais. A aplicação do conceito de ecoeficiência, portanto, vem suprir esta necessidade, com a vantagem de permitir uma análise mais consequente das suas possíveis correlações em diferentes situações de contexto decisório.

Do ponto de vista da aplicação dos resultados da pesquisa, espera-se que este estudo ofereça um melhor suporte técnico e embasamento teórico ao tomador de decisão, para que este tenha subsídios de avaliação sobre os impactos envolvidos no ciclo de vida de um produto, instalação ou serviço, podendo, ao término da análise, verificar e demonstrar se a sua decisão foi de fato a mais vantajosa para o poder público no exercício de sua responsabilidade socioambiental.

Portanto, espera-se contribuir tanto com os desenvolvedores de projetos de IP quanto com gestores de serviços de IP, para que façam um melhor gerenciamento dos recursos e obtenham ganhos de ecoeficiência na transição de tecnologias associadas às suas iniciativas, com foco na obtenção de mínimos impactos ambientais com o máximo aproveitamento econômico, com garantia da qualidade do serviço ao usuário.

Do ponto de vista acadêmico vem sendo feito, sem dúvida, um grande esforço por parte de estudiosos e pesquisadores de todo o mundo para melhorar a sustentabilidade urbana por meio da ecoeficiência. Da mesma forma, há inúmeros estudos que tratam de eficiência energética, dentre elas a energia elétrica. Ou seja, como diria Isaac Newton, a ciência repousa sobre os ombros de gigantes. Nesse sentido, esse trabalho visa a contribuir com a ampliação do conhecimento sobre ecoeficiência no setor de IP, tema ainda pouco abordado entre os estudiosos da área de energia, como pode ser verificado no ítem 2.7 (Ecoeficiência com Uso de ACVs em IP).

1.4 Estrutura

Este primeiro capítulo foi dedicado ao esclarecimento do tema da pesquisa, do seu contexto e da perspectiva pela qual ele é abordado. Foi apresentada a questão de pesquisa que norteou o estudo, os objetivos, a justificativa e as contribuições esperadas.

O Referencial Teórico, resultado de uma revisão bibliográfica extensa destinada a situar a evolução do tema, é apresentado no capítulo 2, onde se discute os conceitos considerados relevantes para o trabalho e que serviram de base para a pesquisa e discussão dos resultados.

No terceiro capítulo, Método, a pesquisa é caracterizada quanto à sua natureza. Os procedimentos e as escolhas metodológicas são detalhadas e justificadas. As diferentes etapas que foram seguidas são apresentadas em detalhes.

Já no quarto capítulo, Resultados, as especificidades da pesquisa para a área escolhida são definidas e estabelecidas com os contornos necessários. Os dados gerados são descritos de forma organizada, para cada um dos casos analisados.

O quinto capítulo, Discussão dos Resultados, analisa os dados obtidos à luz da aplicabilidade do protocolo desenvolvido. Os resultados são confrontados com o referencial teórico, a fim de avaliar e criticar a exatidão dos dados obtidos, principalmente em relação a outros trabalhos já realizados.

No sexto capítulo, Conclusões, avaliam-se os resultados do trabalho para verificar o atendimento do objetivo da pesquisa, ressaltam-se suas limitações, e propõem-se questões a serem exploradas em estudos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a elaboração deste capítulo foi feito um estudo da literatura para conhecer o que já foi desenvolvido por outros pesquisadores. A partir deste levantamento foram definidos os principais elementos conceituais utilizados nesta pesquisa com o objetivo de delimitar um marco teórico para dar sustentação ao estudo quanto aos seus objetivos, planejamento metodológico, comparações e validações. Os resultados obtidos na revisão bibliográfica foram organizados em oito eixos teóricos apresentados com o objetivo final de contribuir com a construção de um protocolo de análise útil para a tomada de decisão por parte de gestores públicos. Estudou-se, para tanto, a construção de cenários que possam simular condições diferentes para o efeito de suas decisões e para que o protocolo permitisse oferecer versatilidade, transparência e robustez. O encadeamento lógico desses eixos teóricos são apresentados na **Figura 1**.

Figura 1 – Eixos Teóricos e suas relações.

Fonte: elaborado pelo autor.

O trabalho parte da visão atual sobre a questão da Sustentabilidade Urbana (SU) e os desafios identificados. Dentre as demandas identificadas encontram-se a gestão do consumo de energia para serviços públicos e a necessidade de utilização de ferramentas simples, tais como planilhas

ou matrizes de decisão, para oferecer suporte aos tomadores de decisão nestes serviços. Paralelamente, o conceito de Ecoeficiência (EE) foi explorado para subsidiar a busca de soluções para a ausência de modelos analíticos aplicáveis a uma área específica: gestão do uso final de energia para o serviço público de iluminação. A partir daí se desenvolveu uma abordagem para verificar o alcance e a aplicabilidade da Ecoeficiência na avaliação da Sustentabilidade Urbana por meio de indicadores.

Nessa perspectiva, aprofundou-se a aplicação deste conceito (avaliação da sustentabilidade urbana por indicadores de ecoeficiência) para a gestão de serviços públicos. Neste universo, focou-se então na Gestão da Iluminação Pública. Foi ainda necessário o estudo mais aprofundado do serviço de iluminação pública, seus desafios, limitações e tendências para se entender as métricas aplicáveis.

Para a abordagem dos conceitos de ecoeficiência no setor de IP foi realizada uma análise estruturada de todos os trabalhos publicados da base scopus para a identificação de similaridades e peculiaridades de elementos em textos de autores citados, relacionados com o tema. Uma tabela com os resultados deste trabalho pode ser verificados no apêndice A.

Na sequência, a aplicação do ciclo de vida para avaliação ambiental e econômica de produtos e instalações para iluminação em geral (e iluminação pública em particular) foi avaliada. Para tanto, foi realizada uma nova análise estruturada de todos os trabalhos publicados da base scopus. As obras selecionadas foram revisadas, a fim de se identificar a aderência do conteúdo e objetivos ao tema da presente pesquisa e as metodologias mais frequentemente utilizadas. Alguns padrões foram identificados e algumas estratégias utilizadas em trabalhos relevantes foram aproveitadas na formulação do modelo de análise (Apêndice B)

A seguir, cada um dos eixos teóricos definidos no referencial teórico são tratados separadamente.

2.1 Sustentabilidade Urbana

A inexorável concentração da população humana em grandes centros urbanos vem sendo estudada com o objetivo de se entender seus impactos no meio ambiente natural e na economia. O desafio é: como desenvolver meios de controlar ou reduzir impactos ambientais, com desenvolvimento econômico.

A seguir são relatadas as principais questões associadas a esta problemática e algumas estratégias identificadas para seu enfrentamento.

2.1.1 Avaliação de Cidades Sustentáveis

No que diz respeito à sustentabilidade urbana, uma das reuniões preparatórias para a Conferência do Rio de 1992 foi a GLOBE '92 (Global Opportunities for Business and the Environment – 1992, em Vancouver - CA). Estas conferências promovidas desde 1990 pela GLOBE Foundation, uma ONG Canadense, são eventos bianuais associados a Feiras de Negócios Internacionais. Elas foram concebidas para promover o desenvolvimento sustentável global, incentivando soluções práticas para os desafios ambientais e promover negócios relacionados a oportunidades e responsabilidades. A GLOBE Séries centra-se, sobretudo no papel da indústria para a realização do desenvolvimento sustentável, e promove a inovação de soluções lideradas pela indústria para os desafios ambientais que estão em consonância com comprovadas estratégias de negócio (GLOBE GROUP, 2015). Neste evento estabeleceu-se uma temática específica para a sustentabilidade do desenvolvimento urbano onde os debates deixaram clara a existência de uma dicotomia entre “economia urbana” e “ecologia urbana”.

Segundo Willian E. Rees (1992a), ecologia é o estudo científico dos fluxos de energia e recursos materiais através dos ecossistemas e dos mecanismos competitivos e cooperativos que evoluíram para a alocação de recursos entre espécies diferentes. Da mesma forma, a economia é o estudo científico da alocação eficiente de recursos escassos (energia e materiais) entre os usos competitivos na sociedade humana. Assim, ecologia e a economia compartilham não apenas as mesmas raízes semânticas, mas também o mesmo foco substancial. Ou melhor, deveria ser. O problema é que a economia ortodoxa se desviou significativamente dos fundamentos teóricos que apoiam sua disciplina irmã. A ecologia tem raízes firmes nas leis

químicas e termodinâmicas do mundo real, que são os reguladores universais de todas as transformações de energia e do mundo material orgânico. A economia neoclássica, atualmente desfrutando um renascimento notável e acrítico em todo o mundo, está firmemente baseada nos métodos da mecânica analítica newtoniana.

O resultado desta divergência é um paradigma econômico dominante em que não há qualquer representação dos materiais, fontes de energia, estruturas físicas e processos dependentes do tempo, conceitos básicos para uma abordagem ecológica. Portanto, a teoria prevalecente produz modelos analíticos baseados em pressupostos reducionistas e deterministas sobre recursos, pessoas, empresas e tecnologias que têm pouca relação com os seus homólogos no mundo real. Em suma, os principais economistas abandonaram a teoria ecológica inteiramente, depois de ter procurado refúgio no reino teoricamente mais tratável, mas ambientalmente irrelevante da física mecânica. Portanto, há aí uma dupla ironia: os economistas, os mais influentes ecologistas humanos, são também os mais ecologicamente errantes e, por outro lado, os ecologistas acadêmicos, que têm um corpo de conhecimento mais apropriado, não estudam os humanos (CONSTANZA, 2015).

Segundo Willian E. Rees (1992a) há quatro importantes consequências dessa dicotomia teórica:

- 1) - Os modelos econômicos frequentemente representam a economia como essencialmente separada e independente do meio ambiente. Em contrapartida, a perspectiva ecológica vê a economia humana como um subconjunto indissociavelmente integrado, completamente contido, e totalmente dependente da ecosfera (biosfera);
- 2) - A teoria econômica trata fluxo de capital e indivíduos como fatores inerentes da produção, ignorando tanto a sua conexão física com a ecosfera como as propriedades funcionais dos ecossistemas explorados. Por outro lado, a ecologia é uma ciência de conectividade, preocupada com os fluxos de materiais e de energia e suas relações com a integridade funcional dos ecossistemas;
- 3) - De acordo com a teoria neoclássica, o esgotamento de recursos não é um problema fundamental, pois o aumento dos preços dos recursos escassos automaticamente leva à conservação e à busca de substitutos. O conhecimento convencional sustenta que a substituição através do progresso tecnológico tem sido mais do que suficiente para superar a escassez emergente de recursos (corroborado por VICTOR, 1991). Isso leva o economista ganhador do prêmio Nobel, Robert Solow, a argumentar que "[...] o mundo pode, com efeito, passar sem recursos naturais [...]" (SOLOW, 1974). Por outro lado, a ecologia argumenta que a humanidade permanece em um estado de dependência obrigatória de numerosos bens biofísicos e serviços que têm seu valor

econômico imensurável, mas para os quais não existem mercados (por exemplo, a camada de ozônio da estratosfera). Na ausência de preços, os questionáveis indicadores de escassez da economia convencional falham absolutamente;

- 4) - Finalmente, a metáfora mecânica descreve uma economia que é autorregulada e autossustentável, onde a reversibilidade completa é a regra geral. A partir desta perspectiva, o ponto de partida para a análise econômica é o fluxo circular do valor de troca. Por outro lado, a realidade termodinâmica significa que a economia se sustenta inteiramente por energia de baixa entropia e matéria produzida externamente por ecossistemas biofísicos. Assim, toda a produção econômica é, na verdade, o consumo - os materiais ecologicamente relevantes e energia que fluem através da economia por processos unidirecionais e irreversíveis.

Este último fator é crucial para qualquer tentativa de explicar os efeitos ecológicos de qualquer processo econômico, incluindo o desenvolvimento urbano. Segundo respeitados autores, sem a referência ao rendimento entrópico, “é praticamente impossível relacionar a economia ao meio ambiente”, ainda que o conceito seja “virtualmente ausente na economia de hoje” (GEORGESCU-ROEGEN, 1975; DALY, 1989; REES, 1990).

Porque que nada disso parece significativo? Segundo Willian E. Rees (1992b, tradução nossa), não pode haver dúvida de que o desenvolvimento sustentável urbano requer uma compreensão sofisticada da ecologia humana. No mundo de hoje, no entanto, os valores primários e critérios que determinam relações materiais entre humanos e o resto da realidade vêm de modelos econômicos ecologicamente vazios. A busca da sustentabilidade seria potencializada se estes modelos fossem considerados à luz de um teorema cibernético chave: “[...] não podemos regular a nossa interação com qualquer aspecto da realidade que o nosso modelo de realidade não inclui, porque não podemos, por definição, ser conscientes disto.”

Para superar este impasse, Willian E. Rees (1992b) propõe uma ideia geral. Pode-se ilustrá-la, relacionando um novo conceito de "capital natural" com um conceito de capacidade de suporte das cidades em nível regional. Embora fundamental para a integração economia/ecologia urbana, as ideias exploradas são ignoradas na arena política do pensamento dominante para o que poderia ser chamado de economia ambiental. Alguns economistas têm aceitado o argumento ecológico de que a sustentabilidade depende da conservação de determinadas entidades e processos biofísicos, numa linha de pensamento hoje denominada economia ecológica (REES, 1992a; CONSTANZA; DALY, 1990; PEARCE, BARBIER;

MARKANDYA 1990; PEARCE; TURNER, 1990; PEARCE; MARKANDYA; BARBIER, 1989; PEZZEY, 1989). Estes "recursos" mantêm as funções de suporte à vida da biosfera e os riscos associados ao seu esgotamento são inaceitáveis, e não há substitutos tecnológicos. A disciplina híbrida emergente da economia ecológica considera esses ativos como uma classe especial de "capital natural" e tem evoluído como um "estoque de capital constante", uma condição necessária para o desenvolvimento sustentável: cada geração deve herdar um estoque de bens naturais de capital de não menos do que o estoque de tais ativos herdados pela geração anterior. Com efeito, a economia ecológica argumenta que, a humanidade, num futuro previsível, deve aprender a viver com a produção anual gerada por estoques remanescentes do capital natural.

Rees (1992a) considera que a ecologia humana básica tem sérias implicações para urbanização e para a base material da vida urbana no século XXI. No foco há uma disparidade entre o Norte e o Sul em termos de acesso à produtividade do capital natural revelado acima. A apropriação de uma parte imensamente desproporcional do “produto planetário bruto” pelos países ricos industrializados é provável que se torne um fator desestabilizador geopolítico cada vez que crescem as evidências de que a economia global está pressionando os limites biofísicos. Em qualquer caso, na medida em que o acesso limitado a recursos é uma causa de pobreza, continua a haver um sério impedimento para o desenvolvimento sustentável dos países do Terceiro Mundo. Estes problemas só podem ser resolvidos através de ajustes estruturais na economia que irão afetar significativamente a forma e função da urbanização. Nas cidades industriais do norte, incentivos econômicos e outras medidas de planejamento para aumentar a eficiência do uso da terra, para reduzir o consumo de recursos materiais, e para melhorar a viabilidade das unidades populacionais locais de terra ecologicamente produtiva devem ser implementadas imediatamente (REES, 1992a).

Ainda segundo Rees (1992a), a mais longo prazo, a busca por sustentabilidade urbana deve trazer, no mínimo, as seguintes questões:

- Quais são as condições ecológicas necessárias para a sustentabilidade urbana regional? Estão essas condições sob gestão e controle ativo ou simplesmente assume-se estarem disponíveis em perpetuidade?¹

¹ Poderia ser acrescentada a esta questão: quais as ferramentas e indicadores apropriados para esta gestão?

- Dada a aparente deterioração do meio ambiente global, podemos falar razoavelmente sobre o desenvolvimento urbano sustentável, sem as implicações de todas as regiões urbanas estarem simultaneamente dependentes da produtividade ecológica “em outro lugar”?
- Como as considerações de capacidade de carga e capital natural afetam a vida urbana em escala espacial?
- Como podemos corrigir sem excessiva abstração, problemas como descontos e falhas de mercado na avaliação econômica da ocupação da terra e de ecossistemas?
- O padrão atual de urbanização do Mundo em Desenvolvimento é inevitável ou é um subproduto de modelos de desenvolvimento não adaptativos? Como podem os países do Terceiro Mundo usufruir o máximo de seu capital natural de produção de riqueza?
- No caso de regiões urbanas dependentes, elas devem formalizar as suas relações com as regiões de exportação para garantir a manutenção adequada das unidades populacionais essenciais de capital natural, reforçando assim a sua segurança ecológica, ou o que poderá ser feito a respeito?
- As regiões urbanas (províncias, nações, etc.) devem desenvolver políticas explícitas para apoiar e sustentar a agricultura regional, silvicultura, criação de peixes, uso de energia, etc., de modo a reduzir as dependências inter-regionais potencialmente instáveis e criar um seguro contra a mudança ecológica global e declínio da produtividade em outros lugares?
- Qual é o nível adequado do governo para lidar com estas questões? Devemos avançar em direção a sistemas regionais de governança que incorporam sistemas de suporte à vida (capital natural)? O modelo bio-regional oferece orientação útil?

Na busca de respostas a estas questões, há teóricos que procuram os pontos de convergência entre a economia ambiental e a economia ecológica. Segundo L. Venkatachalam (2007), a economia ambiental tornou-se progressivamente uma sub-disciplina da economia depois que Pigou (1920) tratou extensivamente da análise de "externalidades negativas" no âmbito neoclássico para corrigir as "falhas de mercado" (VERHOEF, 1999). Esta tradição neoclássica de Pigou ainda continua a dominar a base analítica de todos os principais conceitos da economia ambiental (CROPPER; OATES, 1992), tais como: “segunda melhor solução” na área de controle da poluição (BAUMOL; OATES, 1988); valorização não mercantil dentro da análise micro custo-benefício (SMITH, 1993); desenvolvimento sustentável (PEARCE; TURNER,

1990) e contabilidade ambiental (AHMED; EL SERAFY; LUTZ, 1989) dentro de macroeconomia do ambiente (MUNASINGHE, 2002).

Os modelos acima acabaram tornando este assunto qualificável como "economicamente holístico", bem como um poderoso ramo da moderna economia normativa do bem-estar. Embora a tradição neoclássica "Pigouviana" tenha abraçado o individualismo metodológico (inclusão de aspectos comportamentais do homem em análises econômicas) e o pressuposto de racionalidade ilimitada e eficiência como critério para alocação de recursos tenha fortalecido a base analítica da moderna economia ambiental, esta sub-disciplina tem suas fraquezas também. Enquanto sua força reside no rigor analítico e sua capacidade de fornecer soluções em primeira mão para alguns dos principais problemas ambientais, a sua fraqueza é que ela adota uma abordagem estreita que nos impede de pensar sobre as "funcionalidades maiores" das questões ambientais e ecológicas (LAZEAR, 2000). Por outro lado, a economia ecológica (CONSTANZA et al., 1997), que surgiu no final de 1980 para "capitalizar" essa fraqueza, fez um esforço para incorporar essas "funcionalidades maiores" na análise de interação homem-economia-ambiente. As abordagens analíticas "diferenciadas" usadas na economia ecológica (VAN DEN BERGH, 2001; TURNER; PERRINGS; FOLKE, 1997; SAHU; NAYAK, 1994), no passado, têm enriquecido a compreensão da importância de dinamismos ecológicos nos processos econômicos. Ao mesmo tempo, o progresso na economia ecológica nas últimas décadas não revelou sucessos indiscutíveis na capitalização das fraquezas dos economistas ambientais. Há em pauta um debate sobre que lições comuns os economistas ecológicos e economistas ambientais podem aprender com os recentes acontecimentos relatados via economia neoclássica, em particular sobre os avanços da economia comportamental.

Segundo Venkatachalam (2007), a economia ambiental e a economia ecológica visam compreender as questões envolvidas no relacionamento economia-homem-ambiente, a fim de redirecionar as economias para a sustentabilidade. Enquanto os economistas ambientais perseguem as questões relevantes dentro da abordagem neoclássica de uma forma sistemática, a economia ecológica progrediu através da utilização de uma "abordagem diversificada". Isto resultou em tornar estas duas perspectivas divergentes entre si em muitos aspectos diferentes. Apesar de um estreito caminho seguido, a economia ambiental provou ser "analiticamente rigorosa" e mais eficaz em influenciar a formulação de políticas públicas e setoriais. A abordagem "pluralista" adotada na economia ecológica é considerada altamente "desafiadora", mas parece que o seu âmbito se tornou "demasiado grande", concentrando-se em muitas áreas.

A economia ecológica ainda não forneceu qualquer quadro teórico concreto amplamente aceito para lidar com as questões ecológicas. Além disso, há problemas não resolvidos dentro de outras disciplinas que compõem a abordagem "interdisciplinar" da economia ecológica, o que é uma tarefa difícil. Da mesma forma, as fortes posições ideológicas tomadas pelos pesquisadores, não só entre as diferentes disciplinas, tornaram-se obstáculos para a investigação interdisciplinar. Portanto, a diferença de abordagem entre os aspectos econômicos ambientais e os econômicos ecológicos parece estar aumentando ainda mais. O grande desafio para os pesquisadores é diminuir esta lacuna. Os recentes desenvolvimentos no pensamento dominante da economia proporcionam mais espaço para a investigação intradisciplinar “o que nos ajudaria a reduzir o fosso entre estas duas perspectivas” (VENKATACHALAM, 2007).

As evoluções do comportamento e da economia experimental, que desafiam os próprios postulados da economia neoclássica, tendem a fornecer alguns *insights* úteis que sejam relevantes para alguns campos de pesquisa. Um caminho possível é começar a olhar para a interface da economia ambiental e a da economia ecológica com a economia comportamental e a economia experimental e definir uma agenda comum de pesquisa para uma abordagem “intra-disciplinar”. Isso, no entanto, exige que os pesquisadores aceitem um aspecto importante, ou seja, o "comportamento humano" como tema central da agenda de investigação, pois, todo o foco da economia comportamental e experimental é sobre o comportamento humano com mais ênfase sobre o "individualismo metodológico" ². Se por um lado o quadro atual da economia neoclássica usado na economia ambiental pode ser facilmente estendido para incorporar as "questões comportamentais", isto pode ser problemático no caso da economia ecológica uma vez que alguns dos economistas ecológicos ainda estão céticos sobre a validade do estudo do comportamento individual e individualismo metodológico. Deve-se notar que a economia neoclássica de fato tem aceitado a "abordagem interdisciplinar" como uma ferramenta útil para a análise econômica, por onde a adoção de outras disciplinas poderia ajudar os economistas a compreenderem o “comportamento humano”. Assim, as pesquisas que não contribuem para a compreensão do comportamento humano ou que o rejeitam tendem a não serem aceitas pelos economistas neoclássicos e, nesse sentido, os economistas ecológicos podem desempenhar um papel importante em fazer os economistas neoclássicos melhorarem a sua compreensão das questões ecológicas, pelo fato de se concentrar mais em questões comportamentais para modelar situações futuras (VENKATACHALAM, 2007).

² Acrescenta-se que isso vale para o foco no usuário, no caso da gestão de serviços públicos.

2.1.2 Diagnósticos em Busca de Soluções

O esforço para buscar respostas às questões concretas sobre meio ambiente e o comportamento humano nas cidades começaram a surgir em 1976 na forma de grandes conferências mundiais em Vancouver, no Canadá, (1ª Conferência das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável – Habitat I) que abordou a questão das grandes migrações e o aumento da população mundial devido aos avanços na medicina. O assunto evoluiu até que em 1996, na cidade de Istambul, na Turquia, houve um grande debate sobre cidades sustentáveis e a necessidade de oferecer abrigo para todas as populações (2ª. Conferência das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável – Habitat II). O debate se consolidou como tema global em 2002, com o estabelecimento do Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (UN-Habitat). Este programa realizou sua última conferência mundial sobre moradia e desenvolvimento urbano sustentável em maio de 2015 (3ª. Conferência das Nações Unidas sobre Moradia e Desenvolvimento Urbano Sustentável – Habitat III). Na ocasião foram gerados alguns documentos que procuraram mapear com maior exatidão os grandes problemas atuais e futuros das cidades. Todos os documentos foram preparatórios para a Conferência COP 21, realizada em dezembro último, em Paris. Alguns alertas foram identificados para subsidiar os debates.

Dentre os documentos gerados (22 relatórios emitidos), o documento “Ecossistemas Urbanos e Gestão de Recursos” apresentou um diagnóstico mais focado na gestão de recursos (UN-HABITAT, 2015a). Ecossistemas, tanto dentro das cidades e para além das suas fronteiras, prestam serviços ecossistêmicos para as cidades. Embora não haja uma clara distinção entre o tipo de serviços prestados dentro das fronteiras da cidade e, além deles, aqueles tipicamente incluem benefícios em nível local, tais como a moderação do microclima urbano e melhoria da qualidade do ar, as oportunidades para recreação e melhoria da saúde dos cidadãos. A vizinhança das cidades pode ajudar a moderar eventos climáticos extremos, como inundações e melhorar a qualidade e a quantidade de água fornecida através de bacias hidrográficas, enquanto ecossistemas muito distantes podem fornecer alimentos, medicamentos e madeira. Embora seja difícil quantificar, um crescente corpo de pesquisa demonstra confiança nestes

serviços para construir uma capacidade de resistência nas cidades (MCPHEARSON et al., 2015), o que é especialmente importante em face de alterações climáticas.

Cidades atraem e criam riqueza, dentre outros fenômenos. Uma consequência involuntária disso é que, com a maioria da população do mundo localizada em cidades, há uma forte correlação entre o consumo e a produção concentrada territorialmente:

[...] com uma população global de pouco acima de 50 por cento, mas ocupando menos de dois por cento da superfície da Terra, as áreas urbanas concentram 80 por cento da produção econômica, entre 60 e 80 por cento do consumo de energia, e aproximadamente 75 por cento das emissões de CO₂ equivalentes [...]. (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMMES, 2011).

Segundo o UN-Habitat (2015a), a população global crescente exige recursos naturais para a sua subsistência e bem-estar, e sua densidade populacional demanda soluções urbanas com menores custos para os nossos ecossistemas. As cidades também têm benefícios de aglomeração que fornecem oportunidades para a inovação tecnológica e comportamental, bem como a aplicação generalizada das tecnologias “verdes”. Como a eficiência na prestação de serviços, como água encanada, transporte público e coleta de resíduos sólidos, são menos onerosos para desenvolver, manter e operar num ambiente urbano densamente povoado, eles contribuem para a redução do impacto humano sobre ecossistema local e, conseqüentemente, de riscos ao ecossistema global. Da mesma forma, a proximidade física de muitas empresas faz com que seja mais fácil fazer cumprir a legislação ambiental, para controlar os danos ecológicos (corroborado por DODMAN, 2009). As cidades também são o palco para a implantação de soluções de mobilidade antigos e novos com menos emissão de gases de efeito estufa e de baixo consumo de recursos, como caminhadas, ciclismo e transporte público. Cidades que incluem considerações ecológicas na gestão e governança pavimentam o caminho não só de soluções para os desafios ecológicos, mas também para aqueles de caráter social e econômico.

O documento “Cidades, Mudanças Climáticas e Gestão de Riscos de Desastres” apresentou temas mais ligados a riscos ambientais (UN-HABITAT, 2015b). Um deles é que o mundo está se tornando mais urbano - demógrafos estimam que 54% da população do mundo vive em áreas urbanas. Em 2050, esta parcela da população mundial deverá aumentar para 66% (UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, 2014). Como consequência desta expansão urbana, a área de terra urbana deverá triplicar entre 2000 e 2030 (de 400.000 km² para 1,2 milhões de km²), um enorme desafio que abre oportunidades para

abordagens na perspectiva de mitigação das mudanças climáticas, adaptação e gestão de riscos de desastres (Disaster Risk Management - DRM).

Outro desafio é que as cidades emitem quantidades significativas e crescentes de Gases de Efeito Estufa (GEE), respondendo por 37% a 49% do total das emissões globais de GEE (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014). Projeções da Agência Internacional de Energia indicam que as emissões de GEE relacionadas ao consumo urbano de energia aumentará de cerca de 67% hoje para 74% em 2030 (IEA 2008). Outro conjunto de emissões, chamados Poluentes Climáticos de Curta Duração (Short-Lived Climate Pollutants - SLCPs), contribuem para as mudanças climáticas, mas também impactam a saúde pública, alimentação e consumo de água (CLIMATE AND CLEAN AIR COALITION, 2015). A Organização Mundial de Saúde relata que em 2012 cerca de sete milhões de pessoas morreram devido à exposição à poluição do ar (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2014b).

Segundo o UN-Habitat (2015b), as áreas urbanas são expostas aos impactos das alterações climáticas e aos riscos de desastres. Nas próximas décadas, eventos extremos induzidos por mudanças climáticas devem aumentar significativamente (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014). O World Bank (2013) estima que, em cidades de países em desenvolvimento, o número de pessoas expostas a riscos de ciclones e terremotos aumentará mais do que o dobro entre 2000 e 2050. A frequência e magnitude das catástrofes com grandes impactos urbanos está aumentando. Exemplos do passado incluem as inundações na Tailândia, com perda de US\$ 45.7 bilhões (ORIE; STAHEL, 2013) e o furacão Sandy em Nova York (perda econômica de US\$ 65 bilhões), interrompendo processos de negócios nacionais e globais. No geral, os custos de desastres como percentual do PIB mais do que triplicou nos últimos 40 anos, com grandes catástrofes e redução real do PIB per capita em cerca de 0,6 por cento, em média, aumentando para cerca de um por cento em países de baixa renda, de acordo ao Fundo Monetário Internacional (WORLD BANK, 2013).

Algumas cidades já começaram a tomar medidas - mas muito mais precisa ser feito: Por exemplo, 402 cidades têm registrado publicamente 1036 compromissos relativos às alterações climáticas na plataforma NAZCA e as 63 cidades da Rede C40 relataram um total de 8,068 ações climáticas (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2015). No entanto, um estudo de 2012 sobre 894 principais cidades da Ásia revelou que apenas 29 (3%) tinham adotado planos para enfrentar as mudanças climáticas naquela

região (CITIES DEVELOPMENT INITIATIVE FOR ASIA, 2012). Além disso, mais de 2.500 cidades se inscreveram para a “Campanha da Construção de Cidades Resilientes”, que aborda questões de governança local e riscos urbanos, no entanto, apenas cerca de 300 dessas cidades relataram progressos na redução dos riscos de catástrofe (CITIES DEVELOPMENT INITIATIVE FOR ASIA, 2012).

O documento “Infraestrutura Urbana e Serviços Básicos, Incluindo a Energia” apresentou o seguinte diagnóstico (UN-HABITAT, 2015c):

- 1,2 bilhão de pessoas conseguiu acesso a saneamento melhorado em áreas urbanas de 1990 a 2012, enquanto que aquelas sem saneamento nas áreas urbanas aumentou em 542 milhões de pessoas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2014a);
- Entre 1990 e 2012, 1,6 bilhão de pessoas conseguiu acesso à água potável canalizada, mas 720 milhões de residentes urbanos ainda não têm acesso a um fornecimento de água encanada (WORLD HEALTH ORGANIZATION 2014a);
- A geração de águas residuais está aumentando de forma constante, mas apenas 2% da água globalmente coletada (165 bilhões de m³) recebe ações de reciclagem. Por outro lado, áreas úmidas poderiam reduzir substancialmente os custos de tratamento de esgoto, retendo até 96% do nitrogênio e 97% do fósforo das águas residuais, se preservadas (EWEL, 1997);
- As cidades geram mais de dois bilhões de toneladas de resíduos urbanos, e é previsto que isto irá dobrar nos próximos 15 anos (UN-HABITAT, 2010);
- Mais de 75% da energia global total gerada é consumida em cidades (UNU-IASS, 2015)³; 2,5 bilhões de pessoas dependem da biomassa para atender sua necessidade de geração de energia, resultando em desmatamento e degradação ambiental (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2006);
- Cerca de um quarto da população urbana do mundo continua a viver em moradias precárias e informais (UN-HABITAT, 2013a), com falta de serviços básicos e de infraestrutura;

³ Estima-se que no consumo de energia elétrica, cerca de 20% é destinado à iluminação em todos os nichos, 3% somente com Iluminação Pública.

- Os projetos do Banco Mundial, em cidades de países em desenvolvimento, identificaram que o número de pessoas expostas a riscos de ciclones e terremotos será mais que o dobro de 2000 a 2050 (UN-HABITAT, 2015b);
- Cerca de 60% da área prevista para ser urbanizada em 2030 ainda tem que ser construída (UN-HABITAT, 2013b); US\$57 Trilhões em infraestrutura global de investimentos serão necessários entre 2013 e 2030 (MCKINSEY AND COMPANY, 2013);
- US\$ 1 trilhão de economia anual poderá ser viabilizada com 60 % de melhoria em produtividade na infraestrutura (MCKINSEY AND COMPANY, 2013).

Como se pode observar, as questões associadas à gestão de cidades, diretamente relacionadas ao meio ambiente, estão cada vez mais contabilizadas economicamente.

2.1.3 A Dificuldade de se Passar à Prática

Um engajamento maior da ONU foi verificado já em 2007, com o lançamento do primeiro documento que colocou explicitamente as questões humanas dos centros urbanos associadas às mudanças climáticas no centro da análise. O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2007) publicou o seu Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008 propondo os seguintes meios para mitigar os impactos ambientais e reduzir a vulnerabilidade de populações:

- estabelecer metas para redução de emissões e acompanhar resultados;
- atribuir preços para as emissões de carbono (papel de governos e agentes financeiros) de modo a viabilizar este mercado, com estímulos à negociação e estabelecimento de limites;
- regulação e ação governamental para produção de energia elétrica, estímulo a setores residenciais (urbanos) para políticas de mitigação de emissões de baixo custo, estabelecimento de padrões para emissões veiculares, estímulo ao desenvolvimento de tecnologias e inovação para disposição e acesso a tecnologias de baixo carbono;
- cooperação internacional para mudanças tecnológicas, financiamento de iniciativas e combate ao desflorestamento.

Do ponto de vista da disciplina que estuda o planejamento urbano, encontram-se poucos subsídios conceituais para a elaboração de procedimentos no sentido de proteger o meio ambiente e ao mesmo tempo promover o desenvolvimento econômico e a equidade social. Uma abordagem para esta questão é apresentada por Scott Campbell (1996). Para o autor, os planejadores devem trabalhar com a tensão gerada por estes três objetivos fundamentais a partir do que chamou de “triângulo do planejador” onde o desenvolvimento sustentável estaria em seu centro. Os conflitos entre cada “ponta” do triângulo seriam resolvidos por procedimentos bem estabelecidos e bem mapeados. Este centro não pode ser acessado diretamente, mas somente por meio da resolução temporal dos conflitos. Portanto, os planejadores devem redefinir o conceito de sustentabilidade e superar a corrente definição, “romântica” segundo ele, que se fia por um passado sustentável e vagamente holístico. Nesta abordagem, os planejadores se beneficiariam da integração da teoria social com o pensamento ambiental e da combinação das suas competências substantivas com técnicas de resolução de conflitos na comunidade, para confrontar a injustiça econômica e ambiental. Esta contribuição é importante porque enfrenta de forma objetiva e transparente os conflitos já detectados entre estes conceitos.

Rotmans, Van Asselt e Vellinga (2000) foram mais além e propuseram uma ferramenta de planejamento integrado para cidades sustentáveis. A ferramenta implementa três níveis de instrumentos: cálculos sobre estoques e fluxos atuais para projetar futuros estoques e fluxos pela cidade, medições da quantidade e qualidade dos estoques e fluxos e avaliação das mudanças dos maiores fluxos e estoques da cidade. A plataforma permite simular condições de equilíbrio entre o capital econômico, o capital social-cultural e o capital ambiental de cidades. No entanto, não aprofunda a análise da gestão de alguns recursos, como, por exemplo, energia. Apesar de não deixar claro como são tratadas as funções de relacionamento entre estes capitais, o mérito deste trabalho é introduzir uma noção de avaliação integrada da sustentabilidade de cidades.

Outro trabalho citado nesta linha de avaliação integrada da sustentabilidade de cidades e regiões, contemporâneo do anterior, é o trabalho de Joe Ravetz (2000). O autor faz uma distinção entre “sustentabilidade do ambiente urbano”, “desenvolvimento urbano” e “desenvolvimento da sustentabilidade urbana”. A partir da identificação de eco-ciclos no metabolismo urbano, o autor propõe uma estrutura de avaliação integrada que relaciona “o que precisamos” com “o que obtemos”, passando por um modelamento de pressões e motivadores, atividades, estoques e padrões, fluxos e impactos, resultados e externalidades. O autor nomeou este método como Método para Avaliação Integrada de Cidades Sustentáveis (*Integrated Sustainable Cities Assessment Method - ISCAM*). A vantagem desta abordagem é que permite detalhar melhor os fluxos, incluindo valores e tendências históricas. Também permite utilizar cenários de análise (tais como o de “Business As Usual – B. A. U.” e um de desenvolvimento sustentável com metas de emissões de 20 anos) e o estabelecimento de indicadores centrais para a avaliação integrada, incluindo aqueles de consumo de energia em serviços públicos (transporte, saúde, educação, etc.). A desvantagem da proposta é que demandaria uma grande especialização das equipes de planejamento urbano no uso da ferramenta, complexa para a maior parte dos gestores públicas nas várias instâncias de decisão.

Um trabalho de levantamento de ferramentas e sua aplicabilidade para avaliação integrada da sustentabilidade no contexto urbano foi realizado por Walton, El-Haram e Castillo (2005) no âmbito de um consórcio do Reino Unido (“*Metrics, Models and Toolkits for Whole Life Sustainable Urban Development*”, consórcio do *Engineering and Physical Sciences Research Council’s Sustainable Environment Programme* do Reino Unido / Sue-MoT). A ideia era

identificar as principais métricas, modelos e ferramentas utilizadas por tomadores de decisão urbanos (planejadores, arquitetos, engenheiros e gerentes) para determinar lacunas e necessidades em ferramentas de avaliação de sustentabilidade urbanas. Durante o estudo, foram identificadas 675 ferramentas aplicáveis à avaliação da sustentabilidade no que diz respeito ao desenvolvimento urbano e 165 destas foram submetidas a uma avaliação com uma série de critérios identificados como importantes para a avaliação integrada da sustentabilidade urbana. As partes interessadas, incluindo os decisores urbanos e desenvolvedores de ferramentas, foram contatados sobre os pontos fortes e fracos dos instrumentos de avaliação e sobre as necessidades dos seus utilizadores no futuro. Os resultados do trabalho confirmaram que não há nenhuma ferramenta capaz de cobrir simultaneamente todos os critérios de avaliação, mas não se demonstrou a necessidade de novas ferramentas, e sim uma estrutura de análise ou “roteiro” que integrasse as ferramentas que já existem. O consórcio acabou propondo o desenvolvimento de um kit de ferramentas de avaliação de sustentabilidade integrada (*Integrated Sustainability Assessment Toolkit* - ISAT) onde o núcleo seria a contabilização do custo total que envolve a identificação, avaliação e alocação de custos convencionais e ambientais associados com uma organização e suas operações além do custo social externo a cargo da sociedade, conceito inspirado em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de processos e produtos.

Uma abordagem crítica à avaliação integrada foi realizada num estudo contemporâneo ao de Walton, El-Haram e Castillo (2005). No trabalho de Wiek e Binder (2005), os autores identificaram três fraquezas nas avaliações integradas:

- 1) uso de listas de indicadores isolados;
- 2) não realização de uma análise de consistência dos objetivos a atingir; e
- 3) não utilizar o potencial de enfoques interdisciplinares.

Os autores apresentaram uma abordagem para suporte à tomada de decisão (*Sustainability Solution Spaces for Decision-Making* - SSP) no nível conceitual. Esta abordagem cumpriria os requisitos sistêmicos, normativos e processuais de uma avaliação de sustentabilidade adequada. Ela fornece um conjunto consistente de metas considerando as relações sistêmicas entre os indicadores que representam a região da cidade. Isto daria aos decisores uma orientação concisa para decisões sustentáveis e torna-os conscientes dos efeitos sinérgicos e contraditórios de suas decisões. A ferramenta permite um procedimento geral e outras duas abordagens transdisciplinares: uma abordagem participativa com pessoal leigo implicado nas decisões e outra com peritos. Apesar de mostrar-se viável, a abordagem não permite aprofundar aspectos quantitativos das decisões. Num teste de aplicação ocorrido numa região da Suíça com

atividades na agricultura, observou-se que a abordagem precisa estar associada a uma estrutura de planejamento estratégico, combinando análise de cenários e ferramentas de avaliação multiatributos. Observou-se que um desafio da avaliação da sustentabilidade de cidades e regiões está no fato de que os resultados estão fortemente vinculados a uma avaliação das políticas públicas adotadas no âmbito dos governos.

Pode-se afirmar que o problema da ecologia das cidades alcançou seu reconhecimento definitivo após a publicação do artigo “*Global Change and the Ecology of Cities*” de sete pesquisadores pela *American Association for the Advancement of Science* (GRIMM et al., 2008). O trabalho já mereceu 978 citações, levantadas pela base de dados Scopus, muito mais pelo diagnóstico do que pela proposição de soluções. O artigo traz o diagnóstico de que as áreas urbanas são pontos quentes que impulsionam as mudanças ambientais em escalas múltiplas. Demandas materiais de produção e consumo humano alteram o uso e a cobertura da terra, a biodiversidade e os hidrossistemas tanto localmente como regionalmente. Além disso, estabelecem que a descarga de lixo urbano afeta os ciclos biogeoquímicos e o clima em escalas locais e globais. Para a população urbana, no entanto, as mudanças ambientais globais alavancam mudanças dramáticas no ambiente local. O trabalho reconhece que a Ecologia Urbana integra as ciências naturais e sociais que estudam esses ambientes locais radicalmente alterados e seus efeitos regionais e globais. Portanto, as cidades apresentam-se como problemas, mas também como soluções para os desafios da sustentabilidade de um mundo cada vez mais urbanizado.

Em resumo, as mudanças climáticas globais tem trazido novos desafios para o desenvolvimento urbano e para os governos e a sociedade em todo o mundo, mas os meios para se obter isso parecem não estar claros ou consensuados. O combate às alterações climáticas demanda que se coloquem imperativos ecológicos no foco da economia. É desejável que este processo se inicie pelo menos no mundo desenvolvido – e comece o quanto antes. As incertezas também precisariam ser reconhecidas. Há cerca de 10 anos, os interessados numa ação imediata argumentavam que, com as reformas certas, não seriam demasiado tarde para reduzir as emissões dos gases com efeito de estufa até níveis sustentáveis sem sacrificar o crescimento econômico. Esta abordagem advoga que a crescente prosperidade e a segurança climática não são metas em conflito (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2007). No entanto, pouco se evoluiu na governança global para tratar a questão. Em que pese este reconhecimento, não há unanimidade sobre quais seriam as

melhores abordagens, os instrumentos mais adequados, a profundidade e a extensão com a qual os governos, a população e o setor privado devem envolver-se.

Dada a dificuldade de se obter convergência sobre a questão e a ausência de trabalhos com formulações simples e práticas a cerca de quais seriam as melhores abordagens tanto para a avaliação da sustentabilidade de cidades quanto às ferramentas de suporte à decisão para gestores públicos que promovam esta visão, buscou-se avaliar a aplicabilidade do uso de ferramentas para a promoção da ecoeficiência na gestão de serviços públicos, em particular, na gestão do uso final de energia.

2.2 Ecoeficiência e Suas Aplicações

A seguir são relatadas as origens e as motivações para a aplicação do conceito de ecoeficiência na gestão de organizações, inclusive do poder público.

As questões ambientais vem sendo objeto de interesse da economia neoclássica. Inicialmente havia duas abordagens: economia da poluição e economia dos recursos naturais. Percebendo que a atividade econômica poderia gerar custos ou benefícios que são transferidos para a sociedade, Arthur Cecil Pigou, como já citado, diferenciou os custos ou benefícios privados dos sociais (CECHIN, 2010). Por exemplo, atividades com um custo social diferente daquele do agente privado ocorrem em casos de bens que não são de uso exclusivo, mas apresentam rivalidade no consumo, chamados também de recursos comuns. Estes bens as pessoas não podem ser impedidas de usar, mas sua utilização pode causar prejuízos a outros.

Portanto, a questão da sustentabilidade ambiental não pode ser tratada pelos critérios e pelos procedimentos de otimização. Por isso, a abordagem neoclássica passou a adotar critérios adicionais que estabelecessem a transmissão de algum tipo de constância ao longo das sucessivas gerações, como a constância do consumo *per capita*. Esta linha recebeu o nome de sustentabilidade fraca, cujo maior expoente é o Prêmio Nobel Robert Solow (1974). Outra linha é aquela que elege a constância dos fatores produtivos, ou seja, as diferentes formas de capital, por exemplo, o estoque de capital natural, cujo maior expoente é David W. Pearce (1993).

Segundo Martínez Alier e Schlupmann (1991), a teoria neoclássica convencional tem uma visão dominante de que nem mercadorias nem dinheiro, nem mesmo alimentos podem ser definidos

por seus atributos físicos, e sim apenas em termos das opiniões que os agentes econômicos tenham a seu respeito. A economia como ciência tradicional não considera *a priori* quaisquer conexões que possam existir entre o sistema ecológico e as atividades de produzir e consumir, que representam o centro de qualquer sistema econômico. O modelo econômico típico não contempla as restrições ambientais.

No entanto, desde o início da década de 1970, os impactos ambientais devido às atividades humanas começaram a preocupar vários grupos de pesquisa que não estavam necessariamente ligados diretamente aos estudos da economia. A Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 1972) e o lançamento da obra de Dennis L. Meadows (MEADOWS et al., 1972), “Limites do Crescimento“, foram a base de uma série de iniciativas para entender a relação do ser humano com o mundo natural e suas consequências. No âmbito das corporações, que se interessaram devido à influência das questões ambientais para os negócios, a reação veio na forma de uma abordagem que se convencionou chamar de ecoeficiência.

O conceito de ecoeficiência foi descrito pela primeira vez por Schaltegger e Sturm (1989) e, em seguida, amplamente divulgado em 1992 pelo documento *Alterando o Curso* (SCHMIDHEINY, 1992), uma publicação do Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD).

Desde o início, a ecoeficiência esteve acoplada a outro conceito: a ecologia industrial. Uma questão sempre presente é: se indicadores de ecoeficiência tornarem-se úteis para determinar escolhas, devem ser utilizados com outros indicadores e ferramentas? Portanto, desde o início da formulação do conceito de ecoeficiência, observa-se que há uma visão de que as escolhas devem ser feitas sobre medidas quantitativas e a ecoeficiência vem sendo utilizada para isso, ou seja, para medir a direção da mudança da “sustentabilidade”. Mesmo para a mudança na direção da sustentabilidade, seria contraproducente se os aumentos em ecoeficiência fossem compensados por aumentos maiores da produção total, causando o chamado “efeito rebote”, indicando que há limites para esta abordagem. Para alguns autores, os ganhos atuais em ecoeficiência, tanto corporativos como pelos governos são pequenos e muito aquém dos saltos radicais necessários previstos nos modelos que refletem os limites da Terra. Parece muito mais atraente que as políticas de inovação em produtos devem procurar substitutos que reduzem

radicalmente a quantidade de coisas que os seres humanos em todo o mundo utilizam para produzir bem-estar (EHRENFELD, 2005).

Uma breve história da abordagem pela ecoeficiência pode ser descrito como a seguir (TRUST IN, 2012):

1962 – “Primavera Silenciosa”

Publicação do livro de Rachel Carson causou grande consternação na indústria química e destacou questões importantes sobre os impactos da ação antrópica sobre a natureza. Este livro aumentou a consciência do papel das empresas e forneceu uma plataforma de lançamento para o movimento ambiental.

1972 – “Limites do Crescimento”

Esta publicação emitiu uma forte advertência de que o crescimento econômico estava usando os recursos a uma taxa insustentável e os limites ao crescimento do planeta poderiam ser alcançados dentro dos próximos 100 anos (na época). Desafiando alguns valores estabelecidos da época, o Clube de Roma previu que isso iria resultar em um declínio súbito e incontrollável na população e na capacidade industrial. O estudo foi muito criticado mas ainda assim foi iniciado um diálogo sério sobre a capacidade de carga da Terra e deu-se destaque para a possibilidade de alterar estas tendências de crescimento, a fim de estabelecer uma condição de estabilidade ecológica e econômica que seria sustentável em um futuro distante.

1972 – “Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano”

Líderes de países industrializados e em desenvolvimento foram convocados para a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, Suécia, a fim de delinear os "direitos" a um ambiente saudável e produtivo. Naquela época, o foco para as empresas foi em grande parte cumprir a legislação sobre proteção ambiental.

1975 – “A prevenção da poluição”

A Prevenção da Poluição, ou 2P, mudou a ênfase de "controlar" a poluição, uma vez que foi criado para "prevenir" a sua criação, em primeiro lugar. O fabricante 3M dos EUA foi fundamental para desenvolver o conceito com o seu "*Pollution Prevention Pays*", um programa implementado em 1975 para eliminar a poluição na fonte. Eles alcançaram mais de US\$800 milhões em poupança acumulada no primeiro ano.

1980 – “Movimento Ambiental”

O movimento ambiental cresceu, assim como consumidores tornaram-se mais conscientes dos impactos ambientais dos produtos que estavam comprando. Em 1984, um vazamento de gás venenoso ocorreu em uma fábrica de pesticidas da Union Carbide em Bhopal, na Índia, e os papéis e responsabilidades das empresas foram questionados pela sociedade.

1987 – “O Relatório Bruntland, Nosso Futuro Comum”

Este relatório seminal da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento examinou os desafios ambientais e de desenvolvimento do mundo e como resolvê-los. O livro fez um apelo à ação e à interação entre os governos e a necessidade de uma abordagem ambientalmente responsável.

1989 – “A produção mais limpa”

O Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) formalizou o conceito de produção limpa, e definiu-a como "a aplicação contínua de uma ação preventiva integrada à estratégia ambiental e aplicada a processos, produtos e serviços para aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos para os seres humanos e o meio ambiente". Este foco se tornou mais proativo como os negócios que abraçaram o conceito de prevenção da poluição através de uma produção mais limpa, não necessariamente por meio de uma regulação. Os governos começaram a trabalhar mais cooperativamente com empresas, em vez de por controlar suas atividades por meio de regulamentos.

1991 – “O WBCSD”

O Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (BCSD) - agora o mundial WBCSD – foi o primeiro a usar o termo ecoeficiência em 1992. Este conceito estabelecia a ligação entre o desempenho ambiental e benefícios econômicos. Stephan Schmidheiny e o BCSD levaram o conceito em todo o mundo através de uma publicação intitulada Mudando o Rumo. Tendo cunhado a frase

ecoficiência, o WBCSD passou a sediar uma série de diálogos, oficinas e publicações.

1992 – “Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio”.

Os chefes de Estado se reuniram pela primeira Cúpula da Terra internacional para resolver os problemas urgentes de proteção ambiental e desenvolvimento socioeconômico. A Agenda 21, um plano para alcançar desenvolvimento sustentável no século 21, foi adotado. O termo "desenvolvimento sustentável" refletiu o foco crescente na agenda do desenvolvimento e foi abraçado por meio do trabalho da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Nosso Futuro Comum em 1987). A Cúpula da Terra de 1992 aprovou a ecoeficiência como um meio para as empresas a implementarem a Agenda 21 no setor privado, e o termo tornou-se sinônimo de uma filosofia de gestão orientada para a sustentabilidade. Além da ecoeficiência, as empresas começaram a abordar a responsabilidade social corporativa (CSR) e entender como as operações das empresa afetam a sociedade em geral.

1994 – “Fundação do Clube Fator 10”

A capacidade de carga física limitada da Terra tornou-se mais aceito, com objetivos claros e soluções mais concretas: ecoeficiência e inovação como instrumentos para desvincular o crescimento econômico do crescimento físico. O Clube Fator 10 foi uma organização responsável pela montagem de um painel intergovernamental e a IN TRUST - Parceria Europeia para a Formação para a Inovação Sustentável, uma instituição não governamental, da indústria e líderes acadêmicos foram chamados para a adoção de um fator de dez para o aumento produtividade no uso de energia e recursos nos países desenvolvidos, enquanto reduz-se o uso total de recursos naturais a nível mundial. Eles pediram uma desvinculação absoluta do crescimento econômico da utilização de recursos naturais.

1998 – “Fator quatro”

O "Fator Quatro" foi introduzido em 1998 pelo Instituto Rocky Mountain a partir dos conceitos desenvolvidos por Weizsäcker, Lovins e Lovins em 1997. Refere-se a uma hipotética quadruplicação no aumento da "produtividade dos recursos", provocado pela riqueza dobrando a produtividade e, simultaneamente, reduzindo para metade o consumo de recursos. O conceito passa a ilustrar tecnologias que podem proporcionar as melhorias necessárias.

2002 – “Cúpula Mundial”

O Programa de Implementação da Agenda 21 e os compromissos com os princípios do Rio foram reafirmados na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (CMDS), realizada em Johannesburgo, África do Sul, em 2002.

2004 – “Primeira Conferência Internacional sobre Ecoeficiência (Leiden)”

Ecoeficiência para a Sustentabilidade: Métodos quantitativos para a Tomada de Decisão, abril de 2004, Leiden, Países Baixos. Esta conferência tem sido focada na identificação de métodos operacionais para análise de ecoeficiência quantificada que pode orientar tomada de decisão no sentido social ecoeficiência, contribuindo para a sustentabilidade. Os participantes representaram uma gama de áreas, desde a economia a ciência ambiental, teoria da escolha social e teoria de avaliação e decisão, e a partir de aplicações que envolvem os tomadores de decisão de sustentabilidade em pesquisa e desenvolvimento, eco-design, negócios e política.

2006 – “Segunda Conferência Internacional sobre Ecoeficiência (Egmond aan Zee)”

Em junho de 2006, a Segunda Conferência Internacional sobre Ecoeficiência em Egmond aan Zee, Países Baixos, sobre o tema quantificar na análise de ecoeficiência para a Sustentabilidade e construção na Primeira Conferência Internacional em 2004, desenvolveu ainda mais a compreensão do conceito de ecoeficiência, como está sendo implementada na indústria, e quais as políticas que são mais eficazes em promovê-lo.

2010 – “A 3ª Conferência Internacional sobre Ecoeficiência (Egmond aan Zee)”

A 3ª Conferência Internacional sobre Ecoeficiência em junho de 2010 (Egmond aan Zee, Países Baixos). Gerou a publicação *“Modelling and Evaluation for Sustainability: Guiding Eco-Innovation and Consumption”*. Este é o ultimo grande evento específico sobre o tema.

A ecoeficiência é uma filosofia de gestão. Conforme definido pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável.

[...] a ecoeficiência é alcançada através da entrega de bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida a preços competitivos, reduzindo progressivamente o impacto ecológico e a intensidade de recursos ao longo do Ciclo de Vida a um nível pelo menos em linha com a capacidade de suporte estimada da Terra. (WORLD BUSINESS

COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 1996, 2000b, tradução nossa).

Resumidamente, é a criação de mais valor com menos impacto ambiental.

Alguns exemplos desta abordagem que explicita o aspecto prático e quantitativo da ecoeficiência são:

- A Interface, um dos maiores produtores mundiais de revestimento de piso comercial, economizou \$ 200 milhões no período 1996-2002 por meio de seus esforços de sustentabilidade;
- A HP na Califórnia reduziu seus resíduos em 95% e economizou \$ 870.564 em 1998;
- A ST Microelectronics, fabricante de tecnologia com sede na Suíça, economizou £ 38 milhões em energia e US \$ 8 milhões em custos de água, com uma economia total em mais de uma década prevista em US \$ 900 milhões;
- A Dupont reduziu o consumo de energia em um terço em uma instalação economizando mais de \$ 17.000.000 por ano em energia e reduziu a emissão de gases de efeito estufa por libra de produto pela metade. Em 2000, ela economizou quase US \$ 400 milhões, devido ao uso de recurso e melhoria de produtividade;
- Em cinco anos, a SC Johnson aumentou a produção em 50%, enquanto as emissões de resíduos foram cortadas pela metade, resultando em uma economia anual de mais de US \$ 125 milhões;
- As sedes da United Technologies Corporation eliminou quase 40.000 galões por ano de águas residuais e economizou mais de US \$ 50.000 por ano, com uma mudança fundamental na forma como gere as suas células de teste, tanques de armazenamento subterrâneos e fluxos de resíduos.

No entanto, a prática da ecoeficiência não é simples. No passado recente, era comum as empresas em geral considerarem as demandas legais associadas aos cuidados com o meio ambiente um fator de risco para os negócios. Um grande número de exemplos bem sucedidos mais recentemente vem permitindo uma transformação desta visão. Hoje, as iniciativas são vistas como oportunidades - fontes de melhoria de eficiência e crescimento. Ecoeficiência também é uma parte muito importante da imagem. Basicamente, trata-se de fazer mais com menos: entregar mais valor utilizando menos recursos. Na ação de economia de energia, por exemplo, corta-se os custos ao mesmo tempo em que se reduz as saídas indesejadas, como as

emissões. A ecoeficiência não se limita simplesmente a fazer melhorias incrementais de eficiência nos processos, o conceito estimula a criatividade e a inovação na busca de novas formas de fazer as coisas. Além disso, não se limita a pensar os processos do “chão de fábrica” ou dentro das empresas, o conceito é também válido para as atividades a montante e a jusante da planta do fabricante e envolve as cadeias de abastecimento e de valor do produto. Portanto, esta abordagem vem se transformando num grande desafio para os engenheiros de desenvolvimento, compradores, gerentes de portfólio de produtos, especialistas em marketing e até finanças e controle.

Cada vez mais as empresas percebem que devem usar a ecoeficiência como um elemento cultural integrante em suas declarações políticas ou de missão e os negócios dependem cada vez mais deste valor. Um efeito imediato, por exemplo, é a integração de sistemas de gestão administrativo com a gestão ambiental. Além disso, os relatórios de desempenho surgiram para ajudar a comunicação da empresa e do diálogo com os seus *stakeholders*.

Neste sentido, a ecoeficiência pode fornecer saídas para o problema de se eleger indicadores para avaliar o desempenho de empresas e gestores de serviços. A necessidade de tais indicadores se faz para a comparação com outros, como os de desenvolvimento, apesar das críticas existentes relacionadas à grande gama de variáveis abordadas nos indicadores de sustentabilidades. Bellen (2005) elenca um conjunto de autores e definições de indicadores, sobre os indicadores de sustentabilidade. A importância de uma facilidade de compreensão do conceito abordado é um fator imprescindível para que haja uma representatividade e simplificação de elementos complexos do índice, visando um entendimento e aceitação pelo público, tanto governantes e tomadores de decisão quanto da população (GALLOPIN, 1996 apud BELLEN, 2005). Há algumas ocasiões em que a utilização de indicadores qualitativos é preferencial à de indicadores quantitativos, sendo elas: quando da impossibilidade de quantificação do atributo avaliado; quando da limitação pelo custo da verificação quantitativa e; quando da não existência de informações quantitativas. (BELLEN, 2005). Este autor também afirma que a maioria dos indicadores ambientais existentes foi criada para objetivos específicos, e exatamente por esse motivo, não estão aptos para servirem como indicadores de sustentabilidade. Porém não deixam de ser úteis e de grande influência no âmbito do desenvolvimento sustentável (BELLEN, 2005).

Bellen (2005) averigua que índices compostos por indicadores, como a Pegada Ecológica, não integram aspectos econômicos e institucionais, porém pelo fato de ser uma relação de consumo e área ecológica, pode revelar dimensões econômicas quando o consumo de bens e serviços tem capacidade de revelar a renda padrão e média de consumo da sociedade. Bellen comenta também que atribuir um valor à área ecológica pode expor sua ecoeficiência e os impactos associados ao ciclo de vida dos produtos e à produção mais limpa. Assim como o IDH, a pegada ecológica é de fácil comunicação por ser um único número, acaba chamando atenção para o modo de vida sustentável, apontando para uma necessidade de mudança de estilo de vida, conscientizando a população, apesar de conter variáveis que a muitos escapa o entendimento. Este alto potencial educativo, intrínseco ao método, deixa clara a relação da sociedade com o meio ambiente e indica a intensidade com que as escolhas de cada indivíduo afetam o meio ambiente.

O atual presidente do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Peter Bakker, deu recentemente a seguinte declaração:

As empresas têm um papel importante a desempenhar na condução da transição para uma economia de baixo carbono. Há uma janela de negócios forte e clara para a ação climática: o crescimento de baixo carbono. Apoiados pelos incentivos econômicos corretos e colaboração multilateral, é a única maneira de garantir lucros sustentáveis e emprego no futuro. Empresas que atuam prospectivamente sabem disso e estão tomando as iniciativas climáticas ambiciosas. Suas atividades vão desde a adoção de metas baseadas na ciência de redução de emissões, a inclusão de desmatamento nos preços das commodities a partir de suas cadeias de fornecimento e aquisição de eletricidade a partir de fontes renováveis, entre outros [...]. (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2015, tradução nossa).

O WBCSD, uma das maiores defensoras da ecoeficiência, também considera que oportunidades de ecoeficiência podem surgir em qualquer ponto em todo o ciclo de vida de um produto. Isso significa que os funcionários precisam entender o que é a ecoeficiência, o valor que ele pode trazer para uma empresa e como fazer isso acontecer. Isto por sua vez requer habilidades de construção e compreensão, a fim de integrar a ecoeficiência em todas as operações de negócios, setores, países e questões, e permitindo espaço para a inovação e a criatividade. Ecoeficiência é uma abordagem prática, mas não é uma panaceia. A abordagem nunca vai funcionar como um acessório para um negócio - ele tem que ser uma parte integrante de uma estratégia. Tal estratégia terá um forte foco em inovação tecnológica e social, responsabilidade e transparência,

bem como sobre a cooperação com outros sectores da sociedade, com vista a alcançar os objetivos fixados. Reconhece-se também que a ecoeficiência não é suficiente, por si só, pois integra apenas dois dos três elementos, economia e ecologia da sustentabilidade, deixando o terceiro, o progresso social, fora do seu abraço. Ao adquirirem a visão da ecoeficiência, os funcionários podem compreender melhor os impactos da empresa e sua relação com a sociedade. Isso permitirá ao negócio olhar para além de ecoeficiência, a fim de ganhar certificações para operar, inovar e crescer (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2005).

Atualmente o conceito de ecoeficiência está bem definido. Como já comentado, a dificuldade está em sua aplicação. A norma ISO 14045:2012 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2012) descreve os princípios, requisitos e orientações para a avaliação da ecoeficiência para os sistemas de produtos, incluindo:

- A definição de metas e escopo da avaliação da ecoeficiência;
- A avaliação ambiental;
- Avaliação do valor do sistema produto;
- A quantificação da ecoeficiência;
- Interpretação (incluindo garantia de qualidade);
- Elaboração de relatórios;
- Revisão crítica da avaliação da ecoeficiência.

Requisitos, recomendações e orientações para escolhas específicas de categorias de impacto ambiental e os valores não estão incluídos. Esta é uma das grandes dificuldades mas pode ser uma vantagem à medida que não restringe sua aplicação! As aplicações previstas para a avaliação da ecoeficiência é considerada durante a fase de definição do objetivo e escopo, mas a utilização efetiva dos resultados que está implícita no escopo desta norma, depende do objeto da análise, o que abre espaço para muitas interpretações. Esta norma define ecoeficiência como "[...] aspecto da sustentabilidade que relaciona o desempenho ambiental de um sistema de produto ao seu valor." (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2012, tradução nossa).

A **Figura 2** ilustra o processo de determinação da ecoeficiência, segundo esta norma.

Como se poderá observar, o processo é harmônico ao processo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), de acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040. A avaliação ambiental é complementar e simultânea à avaliação do valor do sistema de produto e uma de suas aplicações é fornecer suporte a políticas públicas.

Figura 2 – Avaliação da ecoeficiência de acordo com a norma ISO 14045:2012.

Fonte: International Organization for Standardization, 2012 (tradução nossa).

Como se pode observar, a ecoeficiência depende de duas avaliações complementares: avaliação ambiental, que pode ser realizada por ACVs, e avaliação econômica (ou do valor) do sistema de produto, que pode ser realizada por ACCVs. A quantificação da ecoeficiência, parte fundamental do processo é relativamente versátil e permite identificar muitos indicadores e modos de medir.

Apesar do apoio de instituições importantes, como o WBCSD, que conta com quase 60 conselhos nacionais e regionais em 36 países e de 22 setores industriais, além de 200 grupos empresariais que atuam em todos os continentes (no Brasil é representado pelo CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENÁVEL - CEBEDS), o mesmo sucesso da visão da ecoeficiência não é observado no que diz respeito ao interesse por publicações de trabalhos acadêmicos voltados a estudar a questão no setor público. A ecoeficiência na gestão de recursos sob responsabilidade de setores governamentais, em que pese sua responsabilidade com as questões climáticas, a emergência de referências de apoio às

decisões, e sua função inalienável de formulador e executor de políticas públicas, não vem merecendo o interesse de pesquisadores. Há questões urgentes em que os estudos sobre aplicações de ecoeficiência poderiam ajudar na tomada de decisões e no encaminhamento de ações junto a fornecedores dos responsáveis diretos pelos serviços públicos. Em particular, como se verá, não há trabalhos identificados que avancem na elaboração de estratégias para a gestão dos serviços de iluminação pública, uma grande demanda da atualidade no Brasil.

2.3 Sustentabilidade Urbana e Indicadores de Ecoeficiência

A Gestão Ecoeficiente de Serviços Públicos demanda a utilização de Indicadores de Sustentabilidade Urbana. Indicadores de Sustentabilidade Urbana desempenham um papel importante no sentido de ajudar os decisores políticos a garantir o sucesso continuado de suas cidades. No entanto, uma revisão da prática atual sugere que a prioridade é dada frequentemente para a mensurabilidade e relevância política dessas métricas.

Segundo Keirstead e Leach (2008), a validade analítica dos indicadores de Sustentabilidade Urbana, ou seja, sua capacidade de representar o sistema urbano e, assim, permitir respostas políticas adequadas é um desafio. Por exemplo, um exame dos indicadores de sustentabilidade urbana utilizados na cidade de Londres revela um afastamento entre teoria e prática e que a vaga definição de sustentabilidade urbana é parte do problema. Uma abordagem de "nicho de serviços" a serem avaliados com respectivos indicadores seria mais adequado, tal como a avaliação específica de um uso final de energia, por exemplo. Os sistemas urbanos complexos tais como sistemas de energia ou de água, podem oferecer oportunidades para a seleção de métricas relevantes em políticas interligadas.

A literatura existente sobre indicadores de sustentabilidade urbana pode ser dividida em dois temas principais, cada um dos quais contribui para a definição de uma métrica 'ideal'. Uma delas tem um enfoque prático e considera o papel desejado de indicadores dentro de debates políticos e o correspondente processo pelo qual essas métricas devem ser selecionados e implementadas. No entanto, a base teórica para os indicadores devem ser considerados em primeiro lugar, que vem a ser o outro tema. Isso significa que definir a sustentabilidade urbana e identificar os princípios associados devem ser refletidas na escolha de Indicadores de Sustentabilidade Urbana (KEIRSTEAD; LEACH, 2008).

Segundo Keirstead e Leach (2008), a literatura acadêmica tem tentado lidar com este problema ao traduzir estas noções gerais em questões de pesquisas específicas. Por exemplo, os autores têm debatido na medida em que o capital criado pelo homem pode ser substituído por capital ambiental perdido, ou seja, sustentabilidade fraca contra sustentabilidade forte (NEUMAYER, 2004), ou a importância relativa dos domínios sociais, econômicos e ambientais (GIDDINGS; HOPWOOD; O'BRIEN, 2002; STANNERS et al., 2007). Dada a amplitude potencial da agenda de sustentabilidade, a investigação relevante pode ser encontrado em diversas disciplinas, tais como ecologia, política e economia (REES; WACKERNAGEL, 1996; HEDIGER, 1997; WEBSTER, 1998). Esses debates estão em andamento, mas destacam-se alguns importantes temas recorrentes. Por exemplo, é amplamente reconhecido que a sustentabilidade não é uma meta fixa; é um processo contínuo e sociedades bem-sucedidas devem ser capazes de se adaptar às novas circunstâncias (NEWMAN, 2007). Buscando-se esta direção ao longo deste percurso pode-se, portanto, ser guiado por princípios como a proteção dos sistemas ecológicos e sua capacidade de carga, o uso cuidadoso de recursos não renováveis, a satisfação completa das necessidades humanas básicas e a promoção da equidade inter e intra-geracional (LUDWIG, 1997; HOLDEN; LINNERUD, 2007; KALLIO; NORDBERG; AHONEN, 2007).

Da mesma forma, quando se pretende esclarecer o que significa sustentabilidade urbana para em seguida definir os seus indicadores, é sensato dar um passo atrás nas definições gerais e considerar os conceitos-chave subjacentes a um ponto de vista particular. Portanto, enquanto uma definição no estilo Brundtland de sustentabilidade urbana poderia ser desenvolvida (ver, por exemplo, NIJKAMP; OPSCHOOR, 1995), pode ser mais apropriado identificar os princípios pelos quais a cidade poderia reger-se no sentido da sustentabilidade. Haughton's (1999) vê que princípios de sustentabilidade são particularmente úteis a este respeito, e alguns conceitos identificados - futuridade (equidade inter-geracional), justiça social (equidade intra-geracional), responsabilidade trans-fronteiriça (equidade geográfica), equidade procedural (tratar as pessoas de forma aberta o bastante) e equidade inter-espécies (a importância da biodiversidade) - na maioria das vezes são noções familiares comuns de desenvolvimento sustentável. No entanto, Haughton demonstra que estas questões têm ressonância particular e interpretação especial dentro de um contexto urbano. Considerando-se a equidade geográfica, por exemplo, a sustentabilidade das cidades não pode ser julgada de forma isolada (BITHAS; CHRISTOFAKIS, 2006); áreas urbanas devem antes ser vistas como parte de sistemas

associados regionais e globais, que fornecem insumos materiais e recebem saídas de resíduos (MCGRANAHAN et al., 2005). Da mesma forma, as dimensões sociais da sustentabilidade adquirem um novo significado quando a intimidade e a proximidade da cidade trazem questões de justiça social e equidade procedural mais evidente para os intervenientes locais (CAMAGNI; CAPELLO; NIJKAMP, 1998). Se fosse para selecionar uma única definição de sustentabilidade urbana, então a noção de Haughton e Hunter (2003, p. 27) de que: “[...] uma cidade sustentável é aquela em que os seus cidadãos e as empresas se esforçam continuamente para melhorar seu habitat e seu ambiente natural, construído e cultural, na vizinhança e na sua região, enquanto trabalham de maneira que sempre apoiam o objetivo do desenvolvimento sustentável global” pode ser sensata.

Uma análise de indicadores aplicáveis a cada um dos cinco princípios implícitos nesta definição pode ser considerada explicitamente. As características práticas de uma base de definição ideal de indicadores de sustentabilidade urbana como descrita acima é dada pela OCDE. É possível observar que essas métricas não são medidas simplesmente descritivas de “parâmetros” de um sistema, são números com significância interpretativa e relevância para debates mais amplos. O progresso de uma métrica para cima ou para baixo, portanto, pode agir como um gatilho para as decisões políticas ou ser utilizado em debates públicos como evidência de progresso para um determinado objetivo. Para um indicador preencher esses papéis, ele deve apresentar certas características, e tem sido sugerido que “a visão dominante de indicadores como instrumentos políticos é centrada na neutralidade, objetividade e proficiência técnica” (ASTLEITHNER et al., 2004, p. 9).

Alguns pesquisadores corroboram esta visão para os vários setores da economia: **público** (CITY OF CAPE TOWN, 2002; SFOC, 2004; CITY OF MELBOURNE, 2005; HONG KONG SDU, 2005; LONDON SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMMISSION, 2005), **privado** (GOOD ENERGY, 2005; BP, 2006; OFGEM, 2006) e **terceiro setor** (MCALPINE; BIRNIE, 2005; SUSTAINLANE, 2006) sendo que o trabalho de Walton, El-Haram e Castillo (2005) e de Parris e Kates (2003) fazem uma revisão ampla.

Embora esta abordagem referir-se à utilização de indicadores para a gestão dos serviços públicos, os temas de objetividade e neutralidade também podem ser vistos em pelo menos quatro características de indicadores de sustentabilidade urbana, por exemplo, indicadores de sustentabilidade são muitas vezes claramente definidos de modo que os interessados possam

ver exatamente o que se quer dizer por uma determinado métrica. Mega (2005) e DTI (2006) demonstram este atributo, proporcionando descrições de cada métrica destacada, como é medida e como pode ser interpretada. Disponibilidade e mensurabilidade de dados também são importantes, por isso, Indicadores de Sustentabilidade Urbana muitas vezes precisam de estatísticas fornecidas por funcionários de governo ou são medidos por novas métricas mais gerais, a fim de estabelecer a confiança nas figuras de mérito, para reduzir o custo de criar um conjunto de indicadores e facilitar análises de séries cronológicas. No entanto, esta prioridade pode ter um efeito importante sobre a escolha de métricas, como em uma avaliação da sustentabilidade das cidades italianas onde "devido à falta de dados estatísticos, indicadores foram selecionados com base na disponibilidade e na comparabilidade de critérios" (DONATIELLO, 2001).

Em adição a estas características das métricas, há um processo ideal pelo qual os indicadores são concebidos e integrados em debates para a orientação de sua aplicação. Para garantir que o contexto de interpretação do indicador seja claro, as métricas são frequentemente apresentadas dentro de categorias nitidamente divididas ou temas centrados em objetivos políticos. Esta característica pode ser chamada de compartimentalização, e pode ser vista nos esforços de cidades como Melbourne (por exemplo, "uma comunidade ativa e saudável", "uma comunidade próspera", Swinburne CRD (2006) ou Londres (LONDON SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMMISSION, 2005)). Além disso, estas prioridades são muitas vezes identificadas dentro de processos consensuais e participativos, em que muitos admitem que seja uma forma valiosa para construir confiança e autoridade no conjunto de indicadores (ATKISSON, 1996; MACLAREN, 1996). Nesses fóruns, grupos comunitários, indústria, governo e outras partes interessadas podem debater os méritos de indicadores propostos e considerar alternativas⁴. No entanto, alguns autores têm advertido que muita ênfase sobre o processo de consulta pode comprometer o plano de ação em si (MANNBERG; WIHLBORG, 2008).

Se tomarmos um nicho específico para analisar, tal como o uso final de energia em cidades, caberia questionar qual seria a "melhor" maneira para medir eficiência energética urbana nesta dimensão. Segundo Keirstead (2013), tem havido recente interesse na identificação de cidades eficientes para que as melhores práticas possam ser compartilhadas, um processo conhecido

⁴ No Brasil, pode-se citar o fórum do Programa Brasileiro GHG Protocol que foi desenvolvido em 2008 pelo GVces da FGV em parceria com o World Resources Institute (WRI).

como “*benchmarking*”. Estudos anteriores já haviam usado métricas relativamente simples que permitiam uma visão limitada sobre a complexidade da eficiência energética urbana e, possivelmente, não fornecem uma medida justa do desempenho urbano. Usando um conjunto de 19 unidades administrativas locais urbanos no Reino Unido, o autor avaliou a aplicação de três métodos de medida de ecoeficiência: medidas de razão, resíduos da regressão e análise da envoltória dos dados (“*DEA*”). Os resultados mostram que cada método tem seus próprios pontos fortes e fracos em relação à facilidade de interpretação, capacidade de identificar casos anômalos e fornecer rankings consistentes. Áreas eficientes são distribuídas de forma dispersa, mas são notavelmente encontradas em áreas de baixa renda de conurbações como Londres, enquanto que as áreas industriais são consistentemente classificadas como ineficientes. Os resultados evidenciam as limitações das contas de energia subjacentes à base de produção como indicadores. Idealmente os parâmetros de eficiência energética urbana deveriam ser construídos sobre as contas, mas baseados no consumo energético e não estritamente no seu custo. O autor faz recomendações quanto ao uso de medidas de eficiência para melhorar práticas correntes e facilitar conversas mais amplas sobre o que significa, para uma cidade específica, ser eficiente em termos de consumo de energia dentro de uma economia interconectada.

Ainda para Junnila e Ristimäki (2012), é preciso inovar para identificar novos conceitos para lidar com as questões ambientais e ao mesmo tempo dar efetividade à ação dos agentes que têm responsabilidade sobre a gestão de serviços públicos. Considera-se que a economia e as relações de mercado têm seus próprios desafios também nesta direção, mas contudo, permanece imprescindível o papel dos gestores públicos para equilibrar, com justiça e equidade, o ônus e o bônus da busca por uma sociedade mais saudável, todos igualmente desafiados a agir perante as mudanças climáticas em vigência.

Em resumo, as mudanças climáticas globais têm trazido novos desafios para o desenvolvimento urbano e para os governos e a sociedade em todo o mundo. Neste contexto, o presente trabalho procurou identificar a viabilidade de se aplicar o conceito de ecoeficiência, mesmo com suas restrições associadas ao uso de indicadores, e demais conceitos associados, para a gestão de serviços públicos e suas particularidades para que se obtenha efetividade na gestão do desenvolvimento urbano sustentável, tanto quanto se observa em iniciativas em andamento no setor privado.

2.4 Uso do Conceito de Ecoeficiência no Setor Público

Para se conhecer as experiências na aplicação do conceito de ecoeficiência na gestão de serviços públicos e verificar a possibilidade da realização de um “benchmarking”, um levantamento da literatura foi realizado utilizando-se bases de dados amplamente conhecidas na academia: Web of Science, IEEEExplore, Scopus e Science Direct. Para o tema, a base Scopus revelou-se abrangente, pois os trabalhos encontrados em outras bases estavam contidos nesta. A busca por trabalhos publicados utilizou a estratégia de busca de ocorrência de palavras que representassem as principais ideias no título, no resumo ou nas palavras-chave dos trabalhos. As palavras utilizadas foram “ecoefficiency” ou “eco-efficiency” e “public”. A utilização de palavras como “public policy”, “public sector”, “public management”, “government” ou “government management” ao invés de simplesmente “public” mostrou-se restritiva e levou a trabalhos já contidos no primeiro conjunto encontrado pelo uso deste termo.

Para a busca não houve restrição de tempo ou língua para o relacionamento de publicações. Com esta configuração de busca, encontrou-se 107 trabalhos publicados até agosto de 2015, distribuídos conforme o histograma de **Figura 3**.

Figura 3 – Histograma de trabalhos publicados.

Fonte: elaborado pelo autor.

Como se pode observar, o tema começou a gerar interesse na segunda metade da década de 1990 e vem merecendo muitos trabalhos de forma crescente (trabalhos publicados até agosto de 2015), ainda que tenham ocorridos períodos de menor interesse. Pode-se dizer que há uma tendência de aumento de interesse pela relação entre ecoeficiência e seus aspectos públicos.

Segundo classificação da base de dados Scopus para a área em que ocorreram estas publicações, observou-se que a distribuição é a seguinte: Ciência Ambiental (56 trabalhos), Engenharias (32 trabalhos), Negócios, Gestão e Contabilidade (18 trabalhos), Ciências Sociais (17 trabalhos), Energia (16 trabalhos), Economia, Econometria e Finanças (8 trabalhos). Os demais trabalhos estão dispersos entre outras 13 áreas disciplinares. Observa-se que, ainda que a ecoeficiência envolva conceitos da economia, negócios e contabilidade, existe uma grande ênfase para os aspectos ambientais, mostrando que a área de estudos do meio ambiente e suas engenharias são o berço da maior parte dos trabalhos.

A definição de ecoeficiência nestes trabalhos mostrou-se relativamente versátil, permitindo a aplicação do conceito para questões tanto na esfera do setor privado (setor produtivo e setor de serviços privados), citados como subsídios para políticas públicas setoriais, quanto para a gestão mesmo do setor público (serviços públicos).

Os 107 trabalhos foram analisados e classificados segundo o escopo da abordagem sobre o tema da ecoeficiência e também segundo a perspectiva desta abordagem. O resultado da análise que gerou a classificação porcentual segundo o escopo da abordagem está ilustrado na **Figura 4** a seguir. Neste caso utilizou-se a classificação “escopo público” para os trabalhos onde o conceito de ecoeficiência foi utilizado para analisar questões próprias do poder público, para obter soluções associadas com as atividades que estão sob-responsabilidade de gestores públicos e governantes. A classificação “público >> privado” foi utilizada para os casos em que o trabalho considerava que havia a necessidade de regular, controlar e realizar alguma política pública para corrigir ou interferir num segmento privado do setor de serviços ou setor produtivo. Ou seja, neste caso o setor público é visto como agente regulador e indutor de políticas, mas não é o destino final do objeto do trabalho. Finalmente, para os casos em que o trabalho partia de uma lógica de negócios do setor privado para demandar algum tipo de ação do poder público, adotou-se a classificação “privado >> público”.

Figura 4 – Classificação porcentual dos trabalhos segundo o escopo da abordagem.
Fonte: elaborado pelo autor.

Pelo gráfico da **Figura 4**, observa-se um relativo equilíbrio entre os trabalhos publicados de acordo com esta abordagem, indicando que as demandas podem estar relacionadas e que têm recebido interesse semelhante.

O resultado da análise que gerou a classificação porcentual segundo a perspectiva da abordagem está ilustrado na **Figura 5**. Neste caso utilizou-se a classificação de perspectiva “conceitual” para os trabalhos onde a principal contribuição é um esclarecimento a respeito da ecoeficiência e seu papel na busca de uma sociedade sustentável. Nestes casos o questionamento sobre a pertinência do conceito para o setor público foi abordado. A classificação de abordagem no plano cognitivo “institucional” foi utilizada para os trabalhos onde o foco era o papel e as ações do poder público. Neste caso, ainda que não houvesse muito comprometimento em levar a termo o conceito e suas definições para um protocolo ou algo que facilitasse sua aplicação e disseminação, havia a preocupação com os papéis dos agentes envolvidos, origem de muitas fontes de inibição para aplicação do conceito de ecoeficiência. Por último, a classificação para a perspectiva “aplicação” foi conduzida para os trabalhos em que claramente houve resultados relatados, utilização de indicadores e mostraram de forma clara a viabilidade da aplicação do conceito de ecoeficiência.

Figura 5 – Classificação porcentual dos trabalhos segundo a perspectiva da abordagem.
Fonte: elaborado pelo autor.

Pela **Figura 5**, observa-se uma predominância da perspectiva institucional e de aplicação, indicando que a perspectiva conceitual ou já está bem colocada para o seguimento público ou tem havido pouco questionamento relativamente ao seu papel.

Realizou-se um exercício de cruzamento entre os trabalhos classificados como de escopo da abordagem estritamente “pública” com aqueles classificados como de perspectiva da “aplicação”. Por este cruzamento identificou-se 11 trabalhos que estão descritos no **Quadro 1**

ref. #	Autor	Ano	Título	Área do estudo
1	Da Guabiroba et al.	2014	<i>Eco-efficiency as an auxiliary measure for the definition of interregional public consortia responsible for the collection of recyclable domestic waste</i>	coleta seletiva de lixo
2	Zhu, Miao e Cui	2014	<i>Measuring regional eco-efficiency: A non-oriented slacks-based measure analysis</i>	desenvolvimento regional
3	Soares et al.	2013	<i>Applications of life cycle assessment and cost analysis in health care waste management</i>	resíduos hospitalares
4	Gorobets	2011	<i>The global systemic crisis and a new vision of sustainable human development</i>	discussão sobre desenvolvimento sustentável
5	Lawrence et al.	2011	<i>Using service level agreements for optimising cloud infrastructure services</i>	negociação entre provedores de infraestrutura e prestadores de serviços em TI
6	Lee et al.	2011	<i>Eco-efficiency of H2 and fuel cell buses</i>	suporte à decisão no setor de transporte
7	Vercalsteren, Spirinckx e Geerken	2010	<i>Life cycle assessment and eco-efficiency analysis of drinking cups used at public events</i>	comparação da ecoeficiência de uso de copos em eventos públicos
8	Wahlgren	2009	<i>Assessing ecological sustainability in urban planning - EcoBalance model</i>	ecoeficiência para planejamento urbano de transportes
9	Mudd e Diesendorf	2008	<i>Sustainability of uranium mining and milling: Toward quantifying resources and eco-efficiency</i>	análise comparativa da cadeia produtiva de combustível nuclear (urânio)
10	Bridges e Curran	2007	<i>Metrics: Essential for environmental decision-making and sustainability</i>	métricas ambientais para tomada de decisão no setor público e privado
11	Pan et al.	2006	<i>Investigation of dependence degree of adjacent communities' economy on resources of the Zhangjiangkou Mangrove Forestry National Nature Reserve</i>	estudo da gestão de reservas florestais e sua influencia na população adjacente

Quadro 1 – Trabalhos de escopo público e perspectiva da aplicação, em ordem cronológica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelo **Quadro 1**, observa-se que o interesse na aplicação do conceito de ecoeficiência para a gestão do setor público, com casos práticos relatados, não tem uma década, iniciando-se apenas em 2006. Apesar de recentes, as iniciativas não guardam um padrão nem quanto ao escopo nem quanto à extensão da análise, ainda que todos tenham se preocupado em parte ou no todo com os conceitos da norma ISO 14045:2012, elaborada recentemente.

Observam-se que os assuntos que vem merecendo atenção são aqueles relacionados à gestão de resíduos (DA GUABIROBA et al., 2014; SOARES et al., 2013), desenvolvimento regional (ZHU et al., 2014; GOROBETS, 2011; BRIDGES; CURRAN, 2007), fornecedores do setor público (LAWRENCE et al., 2011; VERCALSTEREN et al., 2010), setor de transportes (LEE et al., 2011; WAHLGREN, 2009), geração de energia (MUDD; DIESENDORF, 2008) e preservação de florestas (PAN et al., 2006). Um único trabalho brasileiro foi encontrado (SOARES et al., 2013), já citado, relacionado à gestão de resíduos.

Estes trabalhos podem servir de referencial, pois estão ancorados na visão do WBCSD e utilizam indicadores para avaliar a sustentabilidade do serviço ou setor. No entanto, não se encontrou um trabalho que estivesse voltado para a aplicação do conceito de ecoeficiência no uso final estrito de energia elétrica em serviços sob-responsabilidade do poder público, o que explicita uma grande lacuna uma vez que este aspecto tem grande impacto na sustentabilidade das cidades, conforme relatórios sobre sustentabilidade urbana da UN-Habitat (2015a; 2015b; 2015c).

Esta busca de trabalhos publicados e a análise que se seguiu permitiu identificar lacunas e possibilidades para o trabalho ora apresentado.

2.5 Ecoeficiência e Gestão da Iluminação Pública

No que diz respeito à gestão ambiental no setor público, em particular à gestão do uso final de energia elétrica para serviços públicos, há que se reconhecer a sua relevância social e econômica. Neste campo, alguns autores consideram que as empresas e instituições do setor público, particularmente as que têm como missão direta promover o bem-estar da sociedade, deveriam ser as primeiras a tomar a iniciativa de implantar um sistema eficiente de gestão ambiental. Aos fatores sociais associados à preservação ambiental e à saúde da população, somam-se os efeitos da melhor utilização de recursos públicos, pois a ecoeficiência se

fundamenta na racionalidade das decisões, na análise de custo e benefício das medidas a serem implementadas. Seria de desejar, como de fato ocorreu recentemente, a criação de uma Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) que atuasse em conformidade com os requisitos ambientais legais, evitando potenciais custos em compensação por danos ambientais. Para que as mudanças pretendidas por essa Agenda na cultura institucional possam efetivar-se, é decisivo o engajamento do próprio servidor e de seus dirigentes. Caso contrário, a Agenda será mais um programa governamental sem garantia de continuidade. (BARATA; KLIGERMAN; MINAYO-GOMEZ, 2007).

Considerando a gestão do uso final de energia elétrica, especificamente na gestão do serviço de Iluminação Pública, o autor investiu na busca de referências para avaliar a possibilidade da realização de um *benchmarking* para encaminhar a pesquisa. Realizou-se uma busca nas bases de dados IEEE (ieeexplore.ieee.org), Elsevier (sciencedirect.com), ISI Web of Science (wokinfo.com) e Scopus (www-scopus-com.ez), para identificar a utilização do conceito de ecoeficiência no setor de Iluminação Pública. Utilizou-se as palavras chaves “*eco-efficiency*” e “*street lighting*”, sem limite de datas. Como era esperado, pelo resultado das buscas realizadas anteriormente, não foram encontrados trabalhos com esta temática.

Para abrir um pouco mais a consulta, utilizou-se a palavra-chave “lighting” ao invés de “street lighting”. Encontrou-se 15 trabalhos que tratam do tema. O escopo dos trabalhos estão expressos no **Quadro 2** a seguir.

#	Autor (es)	Data	Aplicação
1	Ghazal et al	2015	Avaliação do uso de “smart plugs”
2	Granqvist	2015	Avaliação de conforto térmico em edifícios
3	Franceschini e Pansera	2015	Avaliação da evolução da inovação em iluminação
4	Berre et al.	2014	Avaliação de produção de leite (inclui iluminação)
5	Delai e Takahashi	2013	Avaliação de lojas de varejo
6	Franceschini e Pansera	2013	Discussão sobre o futuro da indústria de iluminação
7	Frاندoloso, Brandli e Dias	2012	Avaliação de conforto “indoor”
8	Simões, Pinto e Bernando	2012	Avaliação de materiais em engenharia de produtos
9	Osmani	2011	Avaliar destinação de resíduos da construção
10	Wessler e Tober	2011	Projeto (design) de produtos fotônicos
11	Chakrabarty e Islam	2011	Avaliação de sistemas solares
12	Allione, Tamborrini e Elia	2011	Avaliação de projeto de produtos de iluminação
13	Cucchiatti, Griffa Radice	2007	Avaliar desempenho energético
14	Halme, Jasch e Scharp	2004	Avaliar Serviços domésticos
15	Vogtländer, Brezet e Hendriks	2001	Discussão de conceitos para taxa de valor

Quadro 2 – Levantamento da publicações sobre ecoeficiência em iluminação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como é possível observar pelo quadro acima, nenhum trabalho está diretamente relacionado com a gestão de energia pelo setor público. O único trabalho que trata do tema indiretamente (no setor de telecomunicações) é o de Cucchiatti, Griffa e Radice (2007). Neste trabalho, os autores avaliam que nos últimos oito anos, os operadores de telecomunicações têm feito ações fortes no sentido de uma utilização cada vez mais eficiente da energia e para a sua redução. Como a arquitetura de rede ficou estável (serviço do Escritório Central), o efeito dessas ações foi facilmente mensurável. Na *Next Generation Network* (NGN) as operadoras estão com o objetivo que implica um cenário completamente diferente e altamente distribuída, onde a maioria dos equipamentos de rede será implantada em FTTCab - arquitetura FTTB. Há a necessidade de definir um método para analisar o comportamento de desempenho energético, que deve ser simultaneamente geral e futuro. Este método deverá ser aplicável tanto para a rede atual e para a NGN, assegurando uma avaliação constante e fiável. O método proposto tem em conta a proporção entre o serviço prestado (em termos de bits) e o total de energia utilizada pelo operador (Joules). A Telecom Itália está desenvolvendo um indicador abrangente que representa seu desempenho em redes fixas e móveis. As fontes de energia tidos em conta são: industrial (energia utilizada pelas plantas de rede), civis (escritórios, iluminação) e

combustíveis (carro e combustível para aquecimento). O documento retrata os resultados da aplicação de tal indicador para o caso Telecom Itália. O documento analisa a tendência do período 2003 - 2006, detalhando todos os fatores-chave e sua ação mútua no resultado final.

Visando identificar experiências relatadas e boas práticas na administração pública, especificamente na administração pública municipal para Iluminação Pública, realizou-se uma busca em agências governamentais sobre o assunto. Apurou-se que o Departamento de Energia dos EUA (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015) compartilha os resultados de projetos de demonstração em gestão de Iluminação Pública a diodos emissores de luz (Lighting Emission Diodes – LED) concluídos com seu apoio, num programa denominado GATEWAY, publicando detalhados relatórios que incluem análise dos dados coletados, a economia de energia projetados, análises econômicas, e opinião de usuários. Relatórios sintéticos também resumem as principais conclusões em um formato para leitura rápida. Apesar de não tratarem dos projetos com o conceito de ecoeficiência, acabam fornecendo bastante detalhes que poderiam ajudar nesta abordagem. O material está disponível no site de seu escritório “Office of Energy Efficiency & Renewable Energy”. Foram publicados 21 relatórios que foram analisados e resumidos pelo **Quadro 3** a seguir.

#	Local dos EUA / data	Extensão da instalação (pontos)	Avaliação: Técnica = T Econômica = E Ambiental = A Dos Usuários = U
1	Detroit / 2015	88.000	E + A +U
2	Portland / 2015	55.100	E
3	Yuma / 2015	400	T
4	Minneapolis / 2014	4	T
5	Kansas City / 2013	9	T
6	Washington / 2013 (estacionamento coberto)	19	T + E

Continua.

continuação

#	Local dos EUA / data	Extensão da instalação (pontos)	Avaliação: Técnica = T Econômica = E Ambiental = A Dos Usuários = U
7	San Francisco / 2012 (Golden Gate Bridge)	10	T
8	Philadelphia/ 2012	10	T
9	New York City / 2012 (Central Park)	10	T + E + U
10	Portland / 2012	6	T + E + U
11	New York City / 2011	24	T + E
12	Sacramento / 2011	8	T + E
13	Leavenworth / 2011 (Estacionamento descoberto)	92	T + E
14	Manchester / 2010 (Estacionamento descoberto)	25	T + E + U
15	Palo Alto / 2010	6	T + E + U
16	Lija Loop / 2009	8	T + E + U
17	Sacramento / 2009 (Estacionamento descoberto)	16	T + E + U
18	San Francisco / 2008	20	T + E + U
19	Portland / 2008 (estacionamento coberto)	12	T + E + U
20	New Jersey / 2008 (Estacionamento descoberto)	6	T + E + U
21	Oakland / 2008 (Estacionamento descoberto)	15	T + E

Quadro 3 – Projetos de demonstração do Programa GATEWAY do USDOE.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelo **Quadro 3**, é possível observar que os governos locais decidiram realizar experimentos de maior vulto (acima de 100 pontos de iluminação) somente a partir de 2015. Em parte isto se deve à disponibilidade de equipamentos a LED com preços mais acessíveis no mercado e ao fato de que os experimentos (instalações experimentais) passaram a relatar grande vantagem na substituição tecnológica somente nos últimos anos. Uma curiosidade é que quase metade dos projetos realizados contou com avaliação dos usuários, ainda que de forma subjetiva. A surpresa é de que nenhum projeto foi avaliado sob o aspecto de sua ecoeficiência. Apenas um projeto mais recente (Detroit / 2015) contou com a avaliação relativa a emissões evitadas devido à

maior eficiência no uso de energia elétrica, mas não na perspectiva da ACV de produtos e instalações, segundo relatório do autor da avaliação (KINZEY, 2015).

Além desta busca em bases internacionais, realizou-se uma busca nos periódicos científicos nacionais vinculados à *Scielo* Brasil com as palavras-chave “ecoeeficiência” e “iluminação pública” em assunto, palavras-chave ou título, sem limite de datas. Também não se encontrou trabalhos com esta temática.

2.6 O serviço de Iluminação Pública

Neste item são apresentadas as razões que tornaram o setor de iluminação, em particular o setor de iluminação pública, importante para a estrutura da economia brasileira e as justificativas que levaram à sua escolha como objeto desta pesquisa. A formação do setor elétrico teve início na segunda metade do século XIX, quando o uso da eletricidade para fins de iluminação pública e transporte coletivo tornou-se tão popular que causou um impacto econômico sem precedentes (RUTTER; KEIRSTEAD, 2012). Atualmente, os recursos e serviços de iluminação são responsáveis pelo consumo médio de cerca de 20% de toda energia elétrica gerada, transmitida e distribuída, um padrão mundial para praticamente todas as matrizes energéticas elétricas (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2008). Trata-se de um uso final presente em todos os segmentos da sociedade brasileira (indústria, comércio, residências e gestão pública) e constitui uma cadeia produtiva com mais de 60.000 empregos diretos, cerca de 670 empresas (principalmente pequenas e médias) e faturamento que chegou a R\$4 bilhões em 2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA ILUMINAÇÃO, 2005).

Apesar da cadeia produtiva de iluminação se constituir um setor dinâmico (lança mais de 1500 produtos e componentes por ano), enfrenta problemas como produção informal e importação ilegal de produtos e componentes. Além disso, a indústria de iluminação como um todo tem dificuldades em competir com a China e os EUA no mercado nacional e exportar para mercados em fase de formação, principalmente África e América Latina (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA ILUMINAÇÃO, 2005; GLOBAL COMPASS, 2011). Um grupo de empresas, associadas da Abilux, constituíram em 2012 um projeto (Projeto Expo-lux) visando fixar presença nestes últimos mercados divulgando a “marca Brasil” ou o “design brasileiro”. O projeto é apoiado pela Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos

(Apex-Brasil). Este esforço tem gerado respostas promissoras e tem se tornado um modelo para os demais fabricantes (GLOBAL COMPASS, 2011).

2.6.1 A Importância do Uso final de Energia em IP

Segundo um estudo da Confederação Nacional das Indústrias de 2010, o uso final de energia elétrica para Iluminação Pública apresenta duas dimensões interessantes para analisar, aparentemente não conexas. Por um lado, uma abordagem estritamente econômica leva a dar-lhe importância relativamente menor, no planejamento energético nacional, uma vez que representa uma parcela de aproximadamente 2,9% do consumo da matriz elétrica nacional ou 4,5% da demanda (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013a). Uma visão geral dos usos finais de energia elétrica no Brasil e sua evolução pode ser obtido pela análise da **Tabela 1** a seguir.

Tabela 1 – Consumo por classe - Brasil em GWh.

	2008	2009	2010	2011	2012	$\Delta\%$ (2012/11)	Part. % (2012)
Brasil	388.472	384.306	415.683	433.034	448.117	3,5	100,0
Residencial	94.746	100.776	107.215	111.971	117.646	5,1	26,3
Industrial	175.834	161.799	179.478	183.576	183.475	-0,1	40,9
Comercial	61.813	65.255	69.170	73.482	79.238	7,8	17,7
Rural	17.941	17.304	18.906	21.027	22.952	9,2	5,1
Poder público	11.585	12.176	12.817	13.222	14.077	6,5	3,1
Iluminação pública	11.429	11.782	12.051	12.478	12.916	3,5	2,9
Serviço público	12.853	12.898	13.589	13.983	14.525	3,9	3,2
Próprio	2.270	2.319	2.456	3.295	3.288	-0,2	0,7

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2013a.

No entanto, o custo de conservação de energia no setor de iluminação em geral é maior do que para várias outras ações, por exemplo, para aquelas próprias do setor consumidor industrial (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS, 2010).

Pela **Tabela 2**, observa-se que o uso final de iluminação tem um custo de efficientização significativo (R\$89,00 por MWh), apesar de não ser um dos maiores consumidores da matriz, isso sem considerar as novas tecnologias que estão chegando ao mercado, que podem ser até 3 vezes mais cara (caso vapor de sódio x LED).

Tabela 2 – Custo da Energia Conservada por Uso Final.

Fonte: Confederação Nacional da Indústria, 2010.

Num planejamento energético, considerando fontes e usos finais, a Iluminação Pública

Ação e Uso Final	CEC (R\$/MWh)
Cogeração/Recuperação de calor	113
Ar comprimido	108
Inversor	96
Fornos/Caldeiras/Estufas	95
Iluminação	89
Correção de Fator de Potência	72
Motor	63
Refrigeração Frigorífica	53
Bombas	47
Gerenciamento/Automação	39

aparentemente não tem uma grande importância.

A **Figura 6** mostra que este uso representa uma parte dos 4,18% de energia consumida pelos setores comercial e público no estado de São Paulo, representado pela seta verde do canto direito inferior (SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015).

Figura 6 – Balanço energético estadual 2014 (10E+3 t/OE).

Fonte: Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, 2015.

Por outro lado, considerando o impacto do custo da energia elétrica consumida para o serviço de Iluminação Pública no orçamento dos municípios, observa-se que em média é o segundo maior custo (BARANDIER et al., 2013) e uma grande fonte de demandas pela população, o principal interessado. A Eletrobrás também prioriza essa questão por ter diagnosticado um grande potencial de eficiência na área, tendo lançado no ano de 2.000 o Reluz e, mais recentemente, vem discutindo a adoção da certificação de luminárias para Iluminação Pública.

O parque de Iluminação Pública no Brasil é bastante heterogêneo, o que pode ser observado na **Tabela 3**. Além disso, as instalações têm idades variadas para as tecnologias empregadas, muitas delas prestes a se tornar obsoletas (mesmo com baixo tempo de uso) devido ao surgimento da tecnologia LED. Esta situação leva a um grande interesse nas ações de modernização deste parque visando economizar energia com adoção de novas tecnologias

Tabela 3 – Perfil do parque de Iluminação Pública no Brasil em 2012.

Tipo de lâmpada	Quantidade	Participação
Vapor de Sódio	11.414.217	71,05%
Vapor de Mercúrio	3.799.133	23,65%
Mistas	283.398	1,76%
Multi-Vapor Metálico	201.218	1,25%
Incandescentes	199.398	1,24%
Fluorescentes	164.542	1,03%
Outras	2.209	0,02%
TOTAL	16.064.115	

Fonte: Soares, 2015.

Pela **Tabela 3**, observa-se que ainda há um grande número de lâmpadas e luminárias utilizadas em Iluminação Pública no Brasil para serem modernizadas. A Eletrobrás estima que há um potencial de economia de energia de 4.811 GWh/ano e 14,3 milhões de sistemas a serem substituídos. Espera-se que ocorra a substituição de 88% destes sistemas por novos sistemas com tecnologia LED em 10 anos, ao custo médio de R\$1.300,00 por luminária, o que representa um mercado potencial de R\$16,4 Bilhões em investimentos (SOARES, 2015).

2.6.2 Tecnologias em Evolução

Dentre as principais inovações no setor de iluminação, destaca-se o surgimento e evolução da tecnologia LED para fabricação de lâmpadas de luz branca. Conforme a **Figura 7**, pode-se observar a evolução desta tecnologia que, graças a investimentos privados e governamentais, tem apresentado uma evolução em termos da eficácia energética já comparável às tecnologias convencionais. Com a necessidade de soluções mais eficazes para usos finais de energia elétrica, esta tecnologia vem sendo priorizada em estratégias de pesquisa e de mercado. No entanto, ao longo dos últimos cinco anos, os trabalhos realizados em laboratório revelam que a mesma evolução não tem ocorrido com os parâmetros colorimétricos de LEDs de luz branca,

tais como a Temperatura de Cor Correlata e Índice de Reprodução de Cores. Estes parâmetros são fundamentais para garantir a qualidade da iluminação para o usuário final.

Figura 7 – Evolução das tecnologias de iluminação.
Fonte: U.S. Department of Energy, 2012b.

Outro aspecto que chama atenção é que a tecnologia LED de luz branca praticamente ainda não participa do mercado dos principais segmentos de aplicação para iluminação. É uma tecnologia ainda em fase de demonstração para boa parte dos grandes mercados corporativos, como o de iluminação comercial e iluminação pública. O gráfico da **Figura 8** permite observar que a produção de luz nos vários nichos de aplicação, está vinculada a tecnologias preferenciais devido não só a eficácia energética na conversão de energia elétrica em luz mas também por características específicas e funcionais de diversas fontes. Há que se observar também que a produção de luz nestes segmentos dependem também dos materiais e projeto óptico das luminárias. As lâmpadas fazem parte do produto final e a escolha da tecnologia envolvida na geração primária é uma tarefa de projetistas que precisam conciliar outros parâmetros (além da eficácia energética), tais como: custo final da luminária, facilidade de instalação e manutenção, vida útil comprovadamente longa, geração de muita luz em pouco volume, atendimento de especificidades do ambiente a ser iluminado, massa do conjunto, dentre outros. Esta é uma das

razões para que haja poucos fabricantes de lâmpadas e muitos fabricantes de luminárias. Os fabricantes de luminárias normalmente utilizam a lâmpada como um componente e desenvolvem seu produto baseado na necessidade do usuário final.

Figura 8 – Tecnologias de Iluminação e nichos de mercados globais.
 Fonte: Young, 2012.

2.6.3 Aspectos legais e Transformação do Mercado

No setor de Iluminação Pública brasileiro, as Resoluções Normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (2010) nº. 414, de 09 de setembro de 2010 e nº. 479, de 03 de abril de 2012 estabeleceram 24 meses (prazo posteriormente prorrogado, vencido em 31 de janeiro de 2014) para que a gestão dos serviços deixe de ser uma atribuição das concessionárias de energia para se tornar uma função das prefeituras. Esta situação deverá induzir a competição neste mercado e demandará a utilização de análises tanto econômicas quanto ambientais para subsidiar o desenvolvimento de produtos que incorporem novas tecnologias. O estudo direcionado especificamente para a tecnologia LED deve-se ao fato de que nos últimos cinco anos, os trabalhos de caracterização de produtos para iluminação revelam ser esta a principal inovação

incorporada nos produtos. Em particular, a aplicação de LED para iluminação pública vem sendo apontada pela Abilux como a principal oportunidade de expansão de negócios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA ILUMINAÇÃO, 2005). Também é neste setor onde há uma concorrência agressiva de produtores e integradores externos visando o mercado brasileiro e a gestão de serviços públicos de iluminação para 5.570 municípios. Também vem merecendo atenção especial da Eletrobrás, que está lançando um programa para certificação de luminárias públicas, seguindo a iniciativa de outros países como os EUA e a Europa, no contexto das iniciativas do Programa Procel de Eficientização dos usos finais de energia elétrica.

2.6.4 A qualidade da Iluminação para Usuários

Visando avaliar a importância da qualidade da iluminação para os cidadãos, usuários do serviço de iluminação pública, se buscou verificar junto a especialistas, quais seriam os principais periódicos internacionais para a área de iluminação e arquitetura. O objetivo era identificar, em estudos publicados, os parâmetros de projetos de iluminação que influenciariam o bem-estar e a produtividade humana. As coleções consultadas foram as seguintes:

- periódico Journal of Architectural Engineering;
- periódico Lighting Research Technology
- trabalhos disponíveis no site do National Physical Laboratory, UK;
- trabalhos disponíveis no site da IEA - International Energy Agency;
- Publicações da International Commission on Illumination – CIE;
- Teses, papers e monografias citadas nos artigos das coleções acima.

Uma compilação comparativa dos principais trabalhos encontrados sobre qualidade de iluminação pode ser observada no **APÊNDICE A**.

Apesar de existirem critérios comuns amplamente aceitos pelos sistemas normativos dos países desenvolvidos, é importante lembrar que há peculiaridades tais como as diferenças de hábitos em se tratando da vida urbana e rural, o grau de escolaridade e poder aquisitivo da população, a realidade urbana nas cidades de grandes concentrações humanas, a insolação na região geográfica e sua sazonalidade anual, a oferta e disponibilidade de tecnologias de iluminação,

além, é claro, do tipo de atividade para a qual o serviço de iluminação exerce uma agregação de conforto, segurança e produtividade ou desempenho visual. Esta diversidade, no entanto, não descarta a necessidade do estabelecimento de critérios específicos conforme a área de aplicação do serviço de iluminação pois tanto desenvolvedores de produtos como gestores dos serviços sempre estarão diante de opções inovadores e com diferentes repercussões seja no que diz respeito à qualidade para o usuário final, impactos no meio ambiente ou economicidade do empreendimento.

Quanto aos **objetivos** dos trabalhos, a intenção é principalmente identificar regras nas relações entre ambientes iluminados e seu efeito no desempenho do trabalho e bem estar para subsidiar projetistas e especificadores. Quase sempre se busca uma padronização das situações mais recorrentes.

Quanto aos **métodos** utilizados, verificam-se dois tipos básicos: revisão da literatura e discussão com especialistas ou experimentos que simulam situações supostamente representativas daquelas de interesse.

Quanto à **área de aplicação** dos serviços de iluminação sob análise, há trabalhos que cobrem a maioria das aplicações de iluminação, abordando desde ambientes internos e externos, mas a maioria preocupada com o desempenho visual visando produtividade (grande interesse nos setores produtivos e comércio).

Quanto aos **parâmetros de qualidade** monitorados, há muita heterogeneidade, dependendo do interesse e da disponibilidade de recursos. Os parâmetros objetivos mais citados são: nível de iluminância, luminância, espectro luminoso, contraste e distribuição luminosa.

Quanto às **regiões** onde os trabalhos foram desenvolvidos, observa-se a predominância de interesse na Europa e nos EUA.

Boa parte dos estudos analisados se tornaram importantes para formar opinião de especialistas e gerar as publicações CIE 191:2010 e CIE 145:2002. A Comissão Internacional de Iluminação (em francês, Commission Internationale de l'Eclairage – CIE), fórum internacional de especialistas, é a principal autoridade no que diz respeito ao estudo e recomendações de técnicas fotométricas para avaliar tecnologias e seu efeito para a saúde humana. É um órgão consultivo da International Electrotechnical Commission (IEC/ISO). A primeira norma é um relatório que

aborda o desempenho humano em tarefas visuais baseado em fotometria mesópica (caracterização de iluminação em horário intermediário entre o diurno e a noturno), com um objetivo principal de estabelecer indicadores de funções mesópicas de sensibilidade espectral para servir como fundamentação de um sistema de fotometria mesópica. O relatório resume as justificativas para o sistema recomendado e fornece diretrizes gerais para o seu uso e aplicação.

A segunda publicação, CIE 145:2002, descreve o estado da arte sobre os atuais modelos de visão. Os dados de desempenho visuais de diferentes autores foram comparados no que diz respeito à sua relação com o contraste de fundo de luminância, e do tamanho do objeto crítico. Propõe-se um modelo sobre "Tempo de Reação", que permite o cálculo de Desempenho Visual (VP) de acordo com a sua definição para determinadas condições das tarefas visuais. Há uma proposta de outro modelo que investiga tempo de busca e precisão e também avalia a influência da idade sobre a acuidade visual e seu impacto para a Desempenho Visual.

Dentre os trabalhos publicados que reportam estudos sobre qualidade de iluminação, há particularmente dois (GLIGOR, 2004 apud INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2010; GOODMAN, 2006) que merecem destaque pela tentativa de esquematizar e sintetizar as relações observadas entre a iluminação do ambiente e a desempenho visual e o bem estar dos usuários deste ambiente.

Na **Figura 9** observa-se uma representação esquemática da associação entre parâmetros do ambiente luminoso e da sensibilidade humana que influenciam a desempenho e a produtividade humana. Observa-se que houve uma preocupação em mapear tanto os fatores comportamentais humanos sensíveis à iluminação ambiente quanto os fatores objetivos deste ambiente (possíveis de serem medidos com instrumentos). Ainda que não tenha havido um aprofundamento na determinação das relações de causa e efeito, o conjunto de parâmetros contém todos os verificados nos demais trabalhos.

Figura 9 – Representação esquemática da associação entre parâmetros do ambiente luminoso e da sensibilidade humana que influenciam a desempenho e a produtividade humana.

Fonte: Adaptado de Gligor 2004, apud International Energy Agency, 2010.

Em outro trabalho, ilustrado na **Figura 10**, observa-se que Goodman (2006) se empenhou em modelar as relações entre luz e iluminação, desempenho de tarefas, saúde e bem-estar. Neste caso, parte-se do ambiente iluminado para entender como ocorrem as relações múltiplas entre as características do comportamento humano para se atingir basicamente dois tipos de objetivos: desempenho em tarefas e bem-estar. Esta cadeia de ação-reação permite justificar a importância de se focar no usuário quando se analisam as tecnologias de iluminação do ponto de vista de suas funções.

Figura 10 – As relações entre luz e iluminação, desempenho de tarefas, saúde e bem-estar.

Fonte: Goodman et al., 2006.

O conforto visual, o desempenho visual e a segurança visual sempre estarão presentes nos serviços de iluminação. Os projetistas utilizam técnicas de projeto, softwares e analisam a melhor solução para o melhor resultado considerando-se a aplicação do serviço de iluminação. A qualidade do resultado, portanto, deve considerar o efeito para o usuário do ambiente. Em se tratando da análise comparativa da ecoeficiência de projetos de Iluminação Pública, esta qualidade para o usuário deve ser garantida para todos os projetos, ou seja, o mesmo padrão

deve estar presente de modo que para o usuário não deverá fazer diferença se o fornecedor da tecnologia é X ou Y.

Dentre os parâmetros que podem medir estes efeitos, há alguns que são suficientemente importantes para que sejam lembrados independentemente da área de aplicação, mas há alguns que, dependendo da área ou nicho de aplicação, fazem diferença apenas no que diz respeito à sua interação com o usuário final específico daquela área.

Um conjunto de parâmetros mínimos a ser utilizado em estudos de ACV ⁵ de produtos e instalações para iluminação pode ser visualizado no **Quadro 4**. Neste quadro, os parâmetros são dispostos conforme a aplicação hipotética dos produtos e instalações (nichos do setor de iluminação). Os parâmetros aplicáveis a projetos de Iluminação Pública estão destacados na coluna amarela. O quadro foi montado com base na consulta aos guias citados na sequência.

Parâmetros a serem definidos na UF	Áreas de Aplicação (tipo de iluminação)						
	Residencial	Pública	Comercial	Industrial	Destaque	Local	Emergência
Distribuição da luminância das fontes e superfícies refletoras	X	X	X	X			
Iluminância nos planos de uso	X	X	X	X		X	
Ofuscamento ou brilho para o usuário		X	X	X	X		X
Direcionalidade da luz	X				X	X	X
Aspectos colorimétricos da luz e das superfícies	X	X	X		X	X	X
Efeito “flicker” ou cintilamento das fontes			X	X			
Presença e distribuição da luz natural	X		X				X
Manutenção dos níveis de iluminação		X	X	X		X	

Quadro 4 – Parâmetros de Qualidade da Iluminação para definição da Unidade Funcional.

Fonte: elaborado pelo autor.

⁵ O objetivo desta discussão é deixar claro que a qualidade para o usuário pode ser medida e deve ser utilizada como padrão para a análise de todas as soluções. Em se tratando da formulação de uma unidade funcional, é apropriado que a sua especificação inclua clareza no que vem a ser esta “qualidade para o usuário”.

A seguir são descritos cada um dos parâmetros do **Quadro 4** considerados relevantes em função da aplicação do serviço de iluminação.

A distribuição da luminância das fontes e superfícies refletoras precisa ser balanceada para melhorar a acuidade visual, a sensibilidade para contrastes e a eficiência das funções oculares. A iluminância nos planos de uso, sua uniformidade e distribuição nas áreas de trabalho e seu entorno são os parâmetros de maior impacto na rapidez, segurança e conforto com que uma pessoa percebe e conduz a tarefa visual a que se propõe. A importância deste parâmetro levou os países a estudarem e definirem tabelas com limites de iluminância em função da tarefa a ser realizada no ambiente sob análise dos luminotécnicos. No Brasil, utiliza-se a norma ABNT NBR 5413:1992: **Iluminância de Interiores** e internacionalmente utilizam-se as normas CIE S 008/E: 2001 / ISO 8995-1:2002(E): **Lighting of Work Places – Part 1: Indoor** e CIE 29.2 – 1986: **Guide on Interior Lighting**. Para iluminação pública, utiliza-se no Brasil a norma ABNT. **Iluminação pública — Procedimento**, ABNT NBR 5101:2012.

O ofuscamento é uma sensação visual produzida por áreas ou pontos brilhantes no campo de visão e é experimentado como um desconforto. Isto é causado por reflexões especulares (direcionais) em superfícies. Limitar o ofuscamento é importante para evitar erros, fadiga e acidentes. Algumas normas, tais como aquelas CIE citadas acima, estabelecem faixas de valores de luminância (em kcd/m^2) e ângulos mínimos para evitar o ofuscamento. Estas normas também estabeleceram uma grandeza denominada Classificação de Brilho Unificada (Unified Glare Rating (UGR)) e seu método de medida para viabilizar o projeto criterioso do ambiente iluminado.

A direcionalidade da luz é importante para realçar objetos, revelar texturas e melhorar a aparência das pessoas no espaço iluminado ou mesmo a visibilidade de detalhes em tarefas visuais. Este “modelamento” de pessoas e objetos é obtido por um balanço entre a luz difusa e a luz direcional e, neste caso, a posição e a distribuição de fontes luminosas são requeridas.

A qualidade colorimétrica de fontes emissoras de luz com aspecto próximo ao da luz branca pode ser caracterizada por dois atributos que podem ser considerados separadamente. A aparência da “cor da luz própria” da fonte luminosa (quente, fria ou intermediária) é medida pelo parâmetro “Temperatura de Cor Correlata (TCC)” em Kelvins, medida numa escala que compara a luz da fonte estudada com a luz do Sol. Este parâmetro normalmente é importante por conta do conforto visual e para induzir uma sensação de frio ou calor conforme o ambiente visual e conforme a intenção do projetista. O “Índice de Reprodução de Cores (IRC)”, um

número absoluto que mede a “deformação” das cores de uma superfície quando esta é iluminada por uma fonte luminosa de espectro luminoso diferente do espectro solar é importante para melhorar o desempenho visual e o bem-estar, além de permitir melhor visualização natural da pele humana e das cores de objetos.

O “efeito Flicker” ou cintilamento das fontes de luz causam distração e efeitos fisiológicos, como dor de cabeça. Estes efeitos devem ser evitados também pela possibilidade de causarem efeito estroboscópico levando a equívocos sobre avaliação visual da velocidade e movimento de máquinas rotativas.

A iluminação natural pode prover toda ou parte da iluminação para as tarefas visuais. Apesar de mudar seu espectro e intensidade ao longo do dia e das estações do ano e vir acompanhada de calor para o ambiente, a iluminação natural é importante como fonte de energia para iluminar locais próximos às janelas devido à possibilidade de economia de energia e à familiaridade e adaptabilidade dos olhos humanos a este tipo de luz. No entanto, o uso correto desta fonte de luz é um desafio, uma vez que isto deve ser pensado desde a concepção da construção civil do ambiente.

A manutenção dos níveis de iluminação é importante, pois todos os projetos são realizados pensando-se num valor médio para os parâmetros que deverão vigorar enquanto se utiliza o ambiental para a atividade especificada. Se estes valores mudam demasiadamente ao longo da vida útil das instalações, corre-se o risco de influenciar o desempenho e conforto das pessoas sem que estas saibam a verdadeira razão que origina tal efeito.

2.6.5 Eficiência Energética em Serviços de IP

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2007), a eficiência no uso da energia, em especial a elétrica, está em pauta desde os choques do petróleo na década de 70, quando ficou patente que as reservas fósseis não teriam custo baixo indefinidamente e que seu uso traria prejuízos ao meio ambiente. Foram, então, empreendidos esforços para que o serviço de energia (iluminação, força motriz, aquecimento, condicionamento ambiental, equipamentos eletroeletrônicos, etc.) pudesse ser oferecido com menor gasto energético ou pelo menos com

a conservação destes. Verificou-se também que a substituição de muitos equipamentos por outros mais eficientes era economicamente viável, ou seja, o custo de sua implantação era menor que o custo da energia cujo uso evitava-se, em um período relativamente curto.

Neste sentido, o conceito de Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) é aplicável⁶, uma vez que permite uma análise abrangente dos empreendimentos considerando o fluxo financeiro em todas as etapas do seu ciclo de vida: instalações, operação, manutenção e descomissionamento.

Medidas como o incentivo ao uso de equipamentos eficientes, melhoria em processos produtivos e adoção de hábitos que provocam menor uso da energia receberam o nome de Medidas de Eficiência Energética (MEE). Apesar dos grandes benefícios que uma MEE pode trazer ao usuário e à sociedade como um todo, muitas barreiras impedem a sua disseminação: dificuldades para financiamento, percepção dos riscos envolvidos, falta de informação, conscientização, treinamento, conhecimento das regras de um contrato de desempenho, acesso às tecnologias e equipamentos de uso eficiente da energia, altos custos de transação, incerteza associada ao resultado das medidas, etc.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2007), em estudo denominado *Matriz Energética Nacional 2030*, ao avaliar as necessidades para a expansão da oferta e da demanda de energia no Brasil nos próximos 25 anos, reconhece-se que os mecanismos de mercado não são capazes, por si só, de promover a eficiência energética nos vários setores de consumo para os padrões previstos. Portanto, há necessidade de políticas e programas de incentivo à eficiência energética que minimizem as barreiras e as imperfeições de mercado (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007). É importante frisar que qualquer estratégia para atender essa demanda deverá necessariamente contemplar iniciativas na área de eficiência energética. E mais: tais iniciativas deverão ser adicionais em relação àquelas que já vêm sendo empreendidas no país. Portanto, a eficiência no uso da energia, em especial da energia elétrica, deveria integrar a

⁶ Uma opção somente seria considerada se diminuísse o consumo de energia (diminuísse o custo da energia) para um mesmo serviço e esta diminuição levaria a um ganho (sobra de dinheiro) equivalente ou maior do que o custo de sua implantação. O objeto de análise é o fluxo financeiro, no entanto qualquer solução está relacionada à busca de um menor consumo de energia, principal custo da geração do serviço ao longo de um determinado tempo (digamos, 20 anos). Aqui a ideia é informar que a ACCV é suficientemente abrangente para incorporar, além do custo do consumo de energia, outros custos que nem sempre são considerados pelo gestor, tais como operação, manutenção, comissionamento, etc.

agenda nacional futura, como acabou ocorrendo com a discussão do Plano Nacional de Energia – PNE 2050 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013b).

Por conta destes desafios, é compreensível que o exercício de práticas focadas na sustentabilidade ambiental, tal como a utilização de ACV para gestão ambiental de instalações e serviços e a ACCV para avaliação econômica dos empreendimentos, recaia sobre o problema do uso de energia e a promoção da eficiência energética em serviços e produtos de iluminação, dentre outros. A geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são grandes geradores de impactos ambientais em qualquer sociedade moderna. No entanto, o foco estrito nas tecnologias ou nos produtos de iluminação, visando principalmente avaliar os impactos ambientais e econômicos que são indiscutíveis na fase de uso (por conta do consumo de eletricidade para conversão de luz ao longo da vida útil), não considera o efeito do funcionamento das instalações com o foco no usuário final. Como será demonstrado adiante (estudo sobre Ecoeficiência com Uso de ACVs em IP), os trabalhos de ACV e/ou ACCV utilizam uma métrica que privilegia a eficácia energética e não a qualidade do serviço para o usuário final⁷.

Para ilustrar a importância de se considerar o efeito do funcionamento das instalações com o foco no usuário final e não estritamente na economia de energia, basta observar a **Tabela 4** onde estão comparados cinco tipos de luminárias, de diferentes características tecnológicas. Os dados foram obtidos de ensaios experimentais realizados no Laboratório de Equipamentos Elétricos e Ópticos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). A lâmpada utilizada em todos os casos foi a mesma: uma lâmpada de descarga de alta intensidade (HID) a vapor de sódio de alta pressão, potência nominal de 250 W, fluxo luminoso total nominal de 27.000 lumens, vida útil nominal de 27.000 horas, eficácia energética nominal de 108 lm/W. Este tipo de lâmpada é o de maior incidência em instalações para iluminação pública em grandes cidades.

Tabela 4 – Comparação de Luminárias.

⁷ Utiliza-se o “pensamento do ciclo de vida”, ou seja, é necessário ter em mente que a ecoeficiência é “...alcançada através da entrega de bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida a preços competitivos, reduzindo progressivamente o impacto ecológico e a intensidade de recursos **ao longo do Ciclo de Vida** a um nível pelo menos em linha com a capacidade de suporte estimada da Terra” (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2000b). Por este motivo a ACV ou a ACCV são ferramentas naturalmente elegíveis pois incorporam o conceito na forma que deve ser aplicado, é reconhecida como técnica normalizada, com a vantagem de oferecer um protocolo robusto.

tipo de luminária	dados da luminária								
	perdas no reator	consumo total	eficiência óptica de materiais e projeto óptico (rendimento)	Eficácia energética final do conjunto	consumo na vida útil da lâmpada	depreciação média ao longo da vida útil	serviço durante a vida útil da lâmpada	consumo para o serviço de referência	Diferença para a referência
	W	W	%	lm/W	kWh	%	klm	kWh	%
baixa eficácia energética com baixa eficiência óptica	50,00	300,00	0,70	63,00	7.200,00	0,90	453.600,00	8.228,57	+16,15
média eficácia energética com média eficiência óptica (referência)	37,50	287,50	0,80	75,13	6.900,00	0,90	518.400,00 (Serviço de referência)	6.900,00	0
alta eficácia energética com baixa eficiência óptica	12,50	262,50	0,70	72,00	6.300,00	0,90	453.600,00	7.200,00	+4,17
baixa eficácia energética com alta eficiência óptica	50,00	300,00	0,90	81,00	7.200,00	0,90	583.200,00	6.400,00	-7,81
alta eficácia energética com alta eficiência óptica	12,50	262,50	0,90	92,57	6.300,00	0,90	583.200,00	5.600,00	-23,21

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para uma comparação adequada, definiu-se **eficácia energética** como a capacidade da luminária em produzir fluxo luminoso por cada unidade de Watt consumido (unidade utilizada: lm/W). A norma NBR 5461 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991), estabelece este conceito como a **eficiência luminosa de uma fonte**, mas entende-se que neste caso chamar de **eficácia energética** é fisicamente mais adequado. A eficácia energética é afetada principalmente pelo consumo de energia da lâmpada, do reator e dos demais componentes elétricos do circuito interno e pelas características intrínsecas do processo de conversão da luz. Definiu-se também a **eficiência óptica** da luminária como a comparação entre o fluxo luminoso emergente da lâmpada e o fluxo luminoso emergente da luminária, em percentuais. A norma ABNT NBR 5461:1991 estabelece este conceito como o **rendimento óptico de uma fonte**, mas entende-se que neste caso chamar de **eficiência óptica** (do inglês “*Light Output Ratio – LOR*”) é fisicamente mais adequado. A eficiência óptica (também chamada de rendimento) é afetada principalmente pelo projeto óptico da luminária e pelos materiais e acabamentos das superfícies onde a luz reflete, refrata ou espalha. O serviço da luminária é a quantidade de fluxo luminoso gerado pelo conjunto luminária+lâmpada entregue ao ambiente onde se encontram os usuários do serviço, em lumens (lm). A definição deste

parâmetro tem a função de valorar numericamente o resultado que o usuário percebe, razão de ser da instalação e do projeto luminotécnico.

Os tipos de luminárias comparadas cobrem cinco tipos possíveis de combinações de eficácia energética (variando entre 63,00 e 92,57 lm/W) e eficiência óptica (variando entre 70% e 90%). A luminária de referência é considerada aquela em que se observam níveis médios de eficácia energética (75,13 lm/W) e eficiência óptica (80%), mais comuns no mercado de iluminação. Também se considerou uma depreciação média de 90% para todas as configurações, pois a lâmpada degrada a emissão óptica ao longo de sua vida útil. Este parâmetro também pode variar dependendo da tecnologia, da forma de instalar e dos aspectos construtivos da luminária, no entanto foi assumido um valor igual para todas as tecnologias a fim de facilitar a análise do exemplo.

Por este conjunto de dados combinados, observa-se que, se considerarmos apenas o consumo da luminária de referência ao longo de sua vida útil (6.900 kWh), as luminárias de alta eficácia energética com baixa eficiência óptica consomem menos energia (6.300 kWh), como era de se esperar e como é o objetivo de todos os produtores e consumidores para mitigar o uso de energia elétrica no segmento. No entanto, estas luminárias consumiriam 7.200 kWh (+4,17%) se considerarmos a energia necessária para entregar o serviço idêntico ao serviço de referência (518.400,00 klm) devido a terem baixa eficiência óptica.

Por outro lado, se observarmos as luminárias de baixa eficácia energética com alta eficiência óptica, estas consomem mais energia em relação à luminária de referência (7.200 kWh), mas consumiriam 6.400 kWh (-7,81%) se considerarmos a energia necessária para entregar o serviço idêntico ao serviço de referência (518.400,00 klm).

É paradoxal que uma luminária de alta eficácia energética (mas com baixa eficiência óptica) apresente para o usuário final um resultado pior do que uma luminária de baixa eficácia energética (mas com alta eficiência óptica). Portanto, num estudo de ACV e/ou de ACCV, é preciso observar cuidadosamente a especificação da unidade funcional utilizada na definição do escopo e objetivo, de modo a tratar adequadamente tanto a eficiência energética quanto a qualidade do serviço para o usuário final.

Outra noção que poderá levar a equívocos em estudos de ACV é a análise de projetos e instalações destinadas à iluminação, onde se utilizam combinações de várias fontes emissoras

para obtenção de um resultado global associado ao ambiente iluminado. Esta é outra situação em que uma análise estrita da eficácia energética dos equipamentos que compõem a instalação não captura a qualidade do serviço prestado ao usuário final.

Como exemplo, na **Figura 11** observa-se uma situação esquemática de uma instalação para iluminação pública com luminárias impróprias para o espaçamento dos postes e altura de montagem (abertura do feixe insuficiente). Uma situação desta poderia ser corrigida sem necessidade de acréscimo de equipamentos de iluminação ou aumento da potência das lâmpadas instaladas. Em muitos casos, bastaria escolher as luminárias projetadas para uma abertura maior do feixe luminoso.

Na **Figura 12** observa-se o esquema da mesma instalação da **Figura 11**, porém com luminárias adequadas para o espaçamento dos postes e altura de montagem (lâmpadas idênticas mas luminárias com refletor e refrator com projeto óptico adaptado).

Portanto, este é um caso em que se poderia melhorar a qualidade da iluminação com tecnologia de produto, sem necessariamente utilizar mais energia ou mais equipamentos, o que ajudaria a melhorar o desempenho ambiental associado ao ciclo de vida da instalação.

Em particular, estudar esta questão no setor de serviços de Iluminação Pública é relevante pois o setor representa (GLOBAL COMPASS, 2011):

- **4,5% da demanda** nacional (2,2 Gigawatts), que corresponde à média das potências elétricas ativas, solicitadas ao sistema elétrico pela carga instalada em operação no parque de iluminação durante um ano;
- **2,9% do consumo** de energia elétrica (9,7 bilhões de kWh/ano);
- **16,1 milhões de pontos** de iluminação pública (5.570 municípios);
- **2ª maior** conta municipal (1ª é salários);

Figura 11 – Instalação para iluminação pública com luminárias impróprias para o espaçamento dos postes e altura de montagem (abertura do feixe insuficiente).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 – Instalação para iluminação pública com luminárias adequadas para o espaçamento dos postes e altura de montagem (lâmpadas idênticas mas luminárias com refletor e refrator com projeto adaptado).

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.7 Ecoeficiência com Uso de ACVs em IP

Para avaliar a aplicabilidade da técnica de ACV na medição da ecoeficiência de empreendimentos de Iluminação Pública, foi realizada uma pesquisa para identificar o estado da técnica para este segmento, ou seja, com o interesse na aplicação da técnica para avaliação de produtos e serviços para iluminação pública. O uso desta técnica permite a construção do modelo para coleta, análise e tratamento dos dados conforme norma ABNT NBR ISO 14040 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

2.7.1 Apresentação da Técnica

Em ACVs, devem-se levar em consideração as etapas de Definição do Objetivo e Escopo, a Análise do Inventário, a Avaliação de Impacto Ambiental e a Interpretação dos dados obtidos (**Figura 13**). Estas etapas são descritas a seguir, segundo as tarefas típicas pertinentes e os resultados esperados de sua realização (SEO; KULAY, 2006):

- **Definição do Objetivo e Escopo:** é estabelecida a razão principal para a condução do estudo, sua abrangência e o público-alvo a que os resultados se destinam.
- **Análise do Inventário:** nesta etapa são realizadas a coleta e a quantificação de todas as variáveis que se relacionam ao ciclo de vida de um produto, processo ou atividade. Os aspectos prioritários considerados para serem inventariados nas diferentes concepções tecnológicas normalmente são as seguintes:
 - Consumo de energia primária e secundária;
 - Utilização de recursos naturais, tais como bauxita e terras raras;
 - Emissão de gases de efeito estufa;
 - Emissão e descarte de mercúrio presente em lâmpadas convencionais;
 - Geração de resíduos da produção de alumínio primário e secundário.
- **Avaliação de Impacto Ambiental:** toda ação ou atividade que resulta em alteração no meio ambiente ou parte dele pode ser estudada quanto à sua influência, magnitude, abrangência e frequência. Para o presente estudo foram utilizados os principais modelamentos de impactos ambientais utilizados nos trabalhos publicados: EDIP, TRACI e EI99. Isto permite comparar os resultados obtidos com os trabalhos já publicados.

- **Interpretação:** consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário ou avaliação de impacto de um estudo de ACV. O produto da interpretação de resultados pode tomar a forma de conclusões e recomendações aos profissionais que se valem da ACV como instrumento de auxílio ao processo de tomada de decisão.

Figura 13 – Estrutura para aplicação de uma ACV baseada em processos.
 Fonte: NBR ISO 14040 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

Na definição de Unidades Funcionais foi dada atenção especial à qualidade da iluminação pública para o usuário final, conforme necessidade detectada no levantamento bibliográfico já realizado.

Para agregar estes parâmetros discutidos anteriormente na definição da Unidade Funcional de um estudo de ACV, desenvolveu-se um roteiro que se propõe a organizar e garantir um mínimo de consistência para os interessados na gestão ambiental de serviços de iluminação. Imaginado a partir da análise das referências comentadas anteriormente, propõem dois eixos complementares para a utilização de ACV nesses casos (foco no serviço e foco no produto).

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), enquanto ferramenta de *ecodesign*, é definida por Chehebe (1997) como uma técnica que permite avaliar os impactos ambientais associados a qualquer atividade ou produto desde o estágio de obtenção das matérias primas até aquele no qual todos os materiais retornam ao meio ambiente. Os impactos ambientais de um produto são determinados pelas entradas e saídas durante o seu ciclo de vida, no qual se pode obter uma série de efeitos ambientais quantificados, tais como: (i) entradas de matérias primas ou energia; e (ii) saídas relativas à emissão total de gases, lançamento total dos efluentes, geração total de

resíduos e contaminação total do solo, além de outras liberações como ruído, vibrações, radiações e calor. A ACV facilita o gerenciamento ambiental no setor industrial, uma vez que melhora a compreensão do processo de produção e facilita a identificação de prioridades para tomadas de decisão. Mais especificamente, ela pode ser usada para o desenvolvimento de uma avaliação sistemática das consequências ambientais associadas a um dado produto; para análise das trocas ambientais associadas com um ou mais produtos ou processos específicos; para obter aprovação dos tomadores de decisão (Estado, comunidade e outros) para alguma ação planejada; para quantificação das emissões ambientais para o ar, água e terra; para avaliação dos efeitos dos consumos de materiais e das emissões ambientais sobre o meio ambiente e sobre o homem; para identificação de áreas de oportunidade para uma maior eficiência econômica; e na concepção e desenvolvimento de produtos (CHEHEBE, 1997).

2.7.2 ACV e ACCV

A técnica de ACV pode ser entendida como uma técnica aplicável à análise de desempenho ambiental de processos e produtos, mas muitos autores admitem que possa ser entendida como parte de um estudo mais amplo que abrange também a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) ou Life Cycle Costing (LCC) (BECCALI et al., 2010; HERTWICH et al., 2015; GIRGENTI et al., 2014; HONG, 2010; THIBODEAU; MONETTE; GLAUS, 2014; BENETTO et al., 2004a; BENETTO et al., 2004b; SONG; HYUN, 1999; CLUZEL et al., 2014). Normalmente utiliza-se o termo ACV para se referir ao escopo mais restrito, com ênfase na avaliação ambiental, no entanto, muitos estudos de ACCV são referidos também como estudos de ACV (NORRIS, 2000). A ACCV pode ser realizada complementarmente à ACV pois utiliza a mesma estrutura e os mesmos protocolos. Uma das vantagens desta associação é que se pode evitar duplo trabalho, lacunas, contagem duplicada de dados e gerar uma condição mais consistente para aproveitamento dos resultados do trabalho para decisões sobre o mundo real. Na realização da ACCV deve-se definir o que foi considerado como custo, qual é a unidade funcional, as fronteiras do sistema considerado, o tempo considerado na análise e o desconto financeiro ⁸ou inflação a ser considerada neste período. Portanto, a técnica de ACCV segue o

⁸ Diz respeito à perda do poder de compra do dinheiro ao longo do tempo.

protocolo da ACV mas diferem em propósito e abordagem, conforme descrito na **Quadro 5** (NORRIS, 2000).

Ferramenta / Método	ACV	ACCV
Propósito	Quantificar e comparar o desempenho ambiental relativo de sistemas de produtos alternativos para atender à mesma utilização final, numa perspectiva ampla da sociedade	Determinar o custo-efetividade de investimentos alternativos e decisões de negócios, a partir da perspectiva de um tomador de decisão econômica, como a de uma empresa de fabrico ou de um consumidor
Atividades que são considerados parte do "Ciclo de Vida"	Todos os processos causalmente ligados ao ciclo de vida físico do produto; incluindo a cadeia de fornecimento, uso e os processos associados, fim de vida e os processos associados	Atividades que causam custos diretos ou benefícios para o tomador de decisão durante a vida econômica do investimento, como resultado do investimento
Fluxos considerados	Poluentes, recursos e fluxos inter-processos de materiais e energia	Custo e benefícios monetários que impactam diretamente o decisor
Unidades para os fluxos rastreados (inventariados)	Principalmente massa e energia, ocasionalmente, volume e outras unidades físicas	Unidades monetárias (por exemplo: dólares, euros, etc.)
Aspectos temporais e alcance	O tempo de duração dos processos e liberação dos fluxos para consumo é tradicionalmente ignorado; a avaliação de impactos pode se referir a uma janela de tempo fixa (por exemplo, horizonte de tempo de 100 anos para avaliar potenciais de mudanças climáticas), mas os impactos futuros geralmente não são descontados	O tempo é crítico. Usa-se o valor presente (desconto) de custos e benefícios. Um horizonte de tempo específico é adotado tornando o modelo mais sensível à taxa de desconto fixada (que pode variar no tempo) e quaisquer custos ou benefícios que ocorrem fora desse tempo, são ignorados

Quadro 5 – Como ACV e ACCV diferem em propósito e abordagem.

Fonte: Norris, 2001 (tradução nossa)

As consequências de deixar a ACCV fora da ACV podem ser resumidas como a seguir (NORRIS, 2000):

- - Influência limitada e relevância da ACV para tomada de decisão;
- - Incapacidade para capturar relações entre consequências ambientais e de custos, o que também inibe a busca de melhor relação custo-benefício, para melhorias ambientais;
- - Potencial de não se considerar consequências economicamente importantes ou, em alguns casos, até mesmo economicamente cruciais relacionados com o ambiente e consequências de decisões alternativas para a empresa.

Para esta pesquisa entende-se que a definição inicial adequada e criteriosa da **Unidade Funcional**, nos casos de ACVs e ACCVs de produtos para iluminação, poderá oferecer uma linha de raciocínio para organizar o processo de obtenção dos demais elementos necessários.

Segundo a norma ABNT NBR ISO 14040, a Unidade Funcional é: “[...] o desempenho quantificado de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência num estudo de avaliação do ciclo de vida” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

No entanto, nos casos de ACVs e ACCVs de produtos para iluminação, a definição do escopo e da Unidade Funcional deve necessariamente levar em consideração em qual dos vários nichos e subnichos de aplicações (iluminação pública, comercial, industrial ou residencial) o estudo está inserido devido ao fato de que os serviços de iluminação atendem a diferentes requisitos de seus usuários, além de demandarem a utilização de produtos com diferentes características. Considerando que cada nicho tem suas métricas e demandas e está inserido de forma particular na cadeia produtiva, é de se esperar que cada um tenha sua própria realidade em termos de funções às quais os produtos e instalações devem atender.

2.7.3 Trabalhos Publicados com ACVs e ACCVs em Iluminação

Para identificar os principais critérios de qualidade da iluminação associados aos nichos de aplicações para iluminação e organizá-los de forma objetiva para facilitar o início dos estudos de ACV e ACCVs, realizou-se uma pesquisa e análise dos principais trabalhos descrevendo ACVs de produtos e serviços para iluminação publicados nas bases de dados acadêmicas, identificando e comparando seus elementos a partir da concepção de ACV definida pela norma ABNT NBR ISO 14040. O resultado da pesquisa está no **APÊNDICE B**. Este levantamento é complementar ao anterior, onde se avaliaram os trabalhos destinados a identificar os efeitos do ambiente iluminado no comportamento, bem-estar e desempenho humano para atividades produtivas. Neste caso, o interesse estava em identificar os critérios objetivos, possíveis de serem parametrizados e medidos, para o estabelecimento da qualidade da iluminação desejada, contextualizando e padronizando o serviço de iluminação como um serviço voltado às necessidades dos seus usuários.

A partir deste levantamento sobre ACV, estabeleceu-se o universo de critérios aplicáveis com comprovada influência para o uso de cada tipo de serviço de iluminação. A partir deste conjunto verificou-se os critérios comuns e aqueles específicos que devem ser considerados dependendo

da aplicação do serviço de iluminação. Estes critérios de desempenho permitiriam a definição de Unidades Funcionais apropriadas para cada aplicação de serviços de iluminação e, com isso, a identificação das lacunas que poderiam ser superadas pela aplicação de uma sequência simples de passos, de modo a tornar mais prática a fase da ACV denominada Definição do Objetivo e Escopo.

Para levantamento das publicações sobre ACV de interesse, realizou-se uma busca estruturada de artigos científicos para avaliar o escopo e a abordagem normalmente realizada na aplicação de estudos de ACV, em particular na área de iluminação. As Bases de Dados consultadas mais compreensivas para esta área de estudo foram as seguintes: IEEEExplore, Science Direct, Scopus e Web of Science.

Na busca, utilizou-se os termos “*life cycle assessment*” e “*lighting*” para busca em títulos, resumos ou palavras-chave dos artigos. Também se realizou uma busca utilizando-se os termos “*life cycle costing*” e “*lighting*” mas observou-se que o conjunto de referências obtidos é bem menor e contido no anterior. Não houve limitação de data de publicação e o idioma escolhido para os trabalhos foi o inglês. Além dos trabalhos encontrados com estes critérios, adicionaram-se à coleção os trabalhos identificados pelo autor em mais de cinco anos de leituras, com os mesmos critérios. Também foram incorporadas na busca as referências citadas pelos trabalhos considerados pertinentes.

Foram considerados os trabalhos que relatam estudos de ACV com ênfase para a avaliação de desempenho ambiental (ACV) e ACCV em serviços e produtos para iluminação. Foram descartados os trabalhos que apenas citavam estudos de terceiros. Por este processo obteve-se um total de 54 trabalhos, que foram lidos e analisados, com distribuição por ano de publicação conforme se observa na **Figura 14**.

Figura 14 – Evolução de publicações em ACV no setor de iluminação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o primeiro trabalho com abordagem de ACV foi publicado em 1991 (GYDESEN; MAIMANN, 1991) e a partir de 2004 houve uma evolução consistente de publicações na área, com tendência de ampliação e destaque para o ano de 2009 e 2012 (12 trabalhos).

A distribuição de trabalhos por área de aplicação (**Figura 15**) revela que há predominância de estudos de ACV nas áreas de iluminação residencial e comercial (ou produtos úteis a ambas), coincidindo com as áreas onde há maior variedade de produtos e onde a iluminação artificial é mais requisitada para usos privados. Isto indica interesse nos produtos cujo mercado não apresenta domínio de grandes marcas ou algum tipo de monopólio e, portanto, está mais aberto à inovação em design e tem uma dinâmica que privilegia as empresas mais versáteis na busca do atendimento de sua clientela.

Os estudos de produtos destinados à iluminação residencial, comercial e aplicações mistas (tanto para iluminação comercial quanto residencial), totalizam 76% dos estudos publicados, o que revela onde a competição comercial é mais intensa.

Os trabalhos dedicados às aplicações em **Iluminação Pública** – IP somam 20% (11 trabalhos) e o restante dedica-se às áreas de iluminação de emergência e industrial. A área de iluminação pública caracteriza-se por um mercado restrito a poucos fornecedores e grandes consumidores

(concessionárias de energia e administrações municipais) o que aparentemente não representa interesse majoritário para aplicação da técnica de ACV (YOUNG, 2012).

Figura 15 – Distribuição dos trabalhos analisados por área de aplicação dos produtos e serviços de iluminação analisados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na **Figura 16** pode-se observar a distribuição dos trabalhos conforme a técnica utilizada. Observa-se que 73%, a grande maioria, utilizaram a ACV, ou seja, ACV destinada a avaliar somente os impactos ambientais. No entanto, 16% dos trabalhos analisados utilizaram a abordagem de ACCV (ou LCC). Cruzando as informações, observa-se que dos 11 trabalhos que focaram no setor de iluminação pública, 4 utilizaram a técnica de ACCV, 6 utilizaram a técnica de ACV (apenas avaliação ambiental) e **apenas um** utilizou ambas as técnicas (VITO, 2007a).

Figura 16 – Distribuição de trabalhos por técnica utilizada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto aos parâmetros utilizados na Unidade Funcional (UF) das ACVs publicadas, observa-se, conforme na **Figura 17**, uma predominância da vida útil (em horas de uso, 39%). Os demais principais parâmetros são: emissão (em lumens, 20%), o custo da energia (em \$/h, 11%), eficácia energética (em lumens/W, 9%) e potência (em W, 9%). Os demais parâmetros apresentaram frequência igual ou inferior a 4% (iluminância, energia, custo de investimento, manutenção e disposição, temperatura de cor correlata, geração de resíduos e cumprimento do espaço iluminado). Estão contabilizados os casos em que se utilizou mais de um parâmetro na UF.

Os trabalhos no geral apresentam definições para a **Unidade Funcional** heterogêneas, não havendo semelhanças nem na extensão nem na profundidade. Observa-se que a ênfase dada aos estudos quase sempre está harmônica com os objetivos mas ligada aos interesses de quem

realiza ou patrocina o trabalho e focando sobre os atributos dos equipamentos utilizados para iluminação. Isto fica claro sempre que se observa as conclusões reportadas.

Figura 17 – Parâmetros utilizados na UF das ACVs publicadas.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos estudos de ACV, conforme já detalhado, a definição da Unidade Funcional é uma das primeiras providências (ainda que possa ser revisada). Para o caso específico de ACVs (como de ACCVs) de produtos e instalações para iluminação é preciso conhecer os requisitos do ambiente iluminado e dos serviços de iluminação, para o fim a que se destina, ou seja, os requisitos para o usuário final.

Este sistema de relações descrito anteriormente, que traduz a qualidade da iluminação para o usuário, pode ser utilizado como suporte para a definição da Unidade Funcional em estudos de ACV. Neste caso, é possível assumir a hipótese de que as Unidades Funcionais, da forma como se define na norma ABNT NBR ISO 14040, devem considerar o efeito das tecnologias para o usuário pois o objetivo dos sistemas de iluminação é justamente prestar um serviço aos seus usuários.

Portanto, se pela norma ABNT NBR ISO 14040, a definição de Unidade Funcional é “[...] o desempenho quantificado de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência num estudo de avaliação do ciclo de vida” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), conclui-se que **o desempenho deveria ser considerado não só como um conjunto de requisitos associados aos produtos e serviços utilizados como também o efeito deste uso para o ser humano (a condição em que o usuário utiliza o serviço)**, razão de ser do projeto de iluminação para os ambientes iluminados.

No âmbito da definição dos requisitos a serem explicitados na Unidade Funcional de ACVs, ainda que haja um conjunto de fenômenos e processos comportamentais associados ao serviço de iluminação, infelizmente não se conhece formas objetivas e padronizadas de se medir todos os seus efeitos sobre o ser humano. Esta condição poderia ser um tema de um estudo futuro. No entanto, há uma série de parâmetros que podem ser medidos objetivamente com instrumentos e que devem fazer parte das especificações da Unidade Funcional dependendo da área de aplicação da iluminação ou nicho da cadeia produtiva (NBR 5101, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

2.8 Utilização de Cenários para Tomada de Decisões

Além destas ferramentas de suporte à avaliação do desempenho ambiental discutidas anteriormente, úteis para a determinação de índices como a pegada de carbono dentre outros, é preciso estratégias para tomada de decisão que incluam indicadores econômicos, para se chegar à medição da ecoeficiência. Tomar decisões acertando alvos futuros não é algo que se possa fazer de forma simples e com baixa incerteza. Outro aspecto relevante deste processo é que, em se tratando da gestão de serviços públicos, há que se fundamentar a decisão em raciocínio robusto e com transparência. As responsabilidades associadas às suas atividades demandam do gestor a capacidade de evitar decisões arbitrárias.

Uma outra técnica utilizada para este objetivo é a elaboração de Cenários prospectivos. (GRISI; BRITTO, 2003). Para outro autor (SCHOEMAKER; VAN DER HEIJDEN, 1992), o processo de construção de cenários deve contemplar as seguintes etapas:

- **Isolar a decisão que se quer tomar:** um cenário não seria uma ferramenta capaz de sanar todos os problemas de uma única vez, havendo a necessidade de construí-lo com a finalidade específica de resolver uma questão ou decisão a ser tomada.
- **Isolar fatores-chave que afetam essa decisão,** considerando-se que tais fatores-chave podem ser considerados como Constantes, Evolutivos ou Erráticos. Há diversos fatores-chave que conduzirão a situação atual até o momento futuro que se avalia. Alguns desses fatores não irão mudar dentro desse período de tempo, sendo considerados aqui como Constantes. Exemplos típicos são o clima, a geografia em geral, mas podem ser elencados aqui outros itens que, dentro do período de tempo estudado, não irão se transformar. Os fatores Evolutivos são aqueles que tendem a mudar mas de modo razoavelmente previsível, como o crescimento da população, os índices de preços (para períodos curtos de tempo) entre outros. Já os fatores Erráticos são aqueles cuja desempenho ao longo do período avaliado é totalmente imprevisível, requerendo a construção de cenários alternativos que contemplem suas múltiplas possibilidades.
- **Construção dos Cenários:** é o momento da elaboração do “conjunto de futuros” sobre o qual a organização irá debruçar-se, articulando um profundo conhecimento do presente com as prospecções em torno dos fatores constantes, evolutivos e erráticos.

- **Aprendizado organizacional** sobre as estratégias viáveis para cada um desses Cenários: objetivo principal da técnica, o aprendizado organizacional acontece já durante a elaboração dos cenários, quando os diversos colaboradores envolvem-se em um processo sistemático de “pensar o futuro”, mas concretiza-se com os cenários já elaborados e prontos para acomodarem as estratégias necessárias para cada um deles.

Ainda segundo Schoemaker e Van Der Heijden (1992), no tópico da Construção de Cenários, pode-se identificar os seguintes momentos:

- Definir o escopo. Corresponde à determinação do horizonte de tempo e o assunto mais relevante para a empresa neste período.
- Identificar os principais grupos de interesse. Expressa a atividade de determinação das partes que possam estar interessadas neste assunto, que possam ser afetadas por ele ou possam influenciá-lo, identificando seus papéis, interesses e posições de força.
- Identificar as tendências básicas. É a atividade de avaliação da influência (positiva, negativa ou incerta) da tendência de cada variável relevante para o assunto selecionado, nos diversos ambientes (político, econômico, sociocultural, tecnológico, legal). Se não houver consenso quanto a essa tendência, ela será enquadrada como uma incerteza.
- Identificar as incertezas relevantes. Corresponde à identificação dos eventos cujos resultados são incertos e que afetarão significativamente o assunto selecionado. Para cada incerteza devem-se identificar os possíveis resultados.
- Construir os cenários. Apoiado nas várias abordagens (por exemplo: universos extremos, com todos elementos positivos em um cenário e todos os negativos em outro) definem-se linhas gerais de alguns cenários aprendizes. É fato que a maioria dos Cenários são organizados no formato bad-to-good, ou seja, cria-se um arco de opções que vai da mais otimista à menos otimista passando por uma ou mais situações intermediárias. A limitação desse recurso é que as pessoas tendem a identificar as posições intermediárias como as mais prováveis e concentrar suas reflexões sobre elas.
- Testar a consistência e plausibilidade. Para cada cenário aprendiz deve-se verificar a compatibilidade das tendências com o horizonte escolhido, a consistência das combinações de resultados das incertezas e a sua estabilidade (considerando as possíveis reações dos grupos de interesse)
- Desenvolver os cenários aprendizes. Os cenários aprendizes devem ser desenvolvidos e analisados (na prática, limita-se à construção de 3 a 5 cenários mais relevantes).

- Identificar as necessidades de pesquisa. Os cenários aprendizes auxiliam a identificar os “pontos-cegos” de conhecimento e a eventual necessidade de pesquisas para maior compreensão das incertezas e das tendências.
- Desenvolver modelos quantitativos. Se for necessário, formalizar interações ou quantificar consequências.
- Evoluir para cenários de decisão. Em um processo iterativo deve-se convergir para cenários preferenciais (segundo julgamento dos participantes), que auxiliem a decisão sobre novas estratégias ou novos produtos.

Em um estudo da área de telecomunicações (WRIGHT; JOHNSON, 1984), os cenários tiveram um papel na identificação de missão e estratégias empresariais no setor. Três tendências distintas de evolução da sociedade brasileira foram identificadas e utilizadas como base para a elaboração de cenários alternativos para o ano 2000:

- O primeiro cenário, o de “Ecodesenvolvimento”, caracteriza uma sociedade que busca prioritariamente a igualdade de tratamento e de oportunidades, o atendimento às necessidades básicas, a autossuficiência e o desenvolvimento baseado em recursos e soluções próprias em nível regional e nacional.
- O cenário de “Crescimento Econômico” caracteriza uma sociedade em que predomina a crença no desenvolvimento através do crescimento econômico acelerado; buscando alcançar para todos os brasileiros os padrões de vida dos países mais adiantados, pela expansão, aprimoramento e integração internacional da economia brasileira. Enfatiza-se a eficiência da indústria nacional para alcançar a competitividade internacional e engajar toda população brasileira aos setores mais dinâmicos da economia.
- Já no cenário de “Modernização”, o desenvolvimento da sociedade se daria no aprimoramento do homem, no uso da informação e do conhecimento para gerar soluções criativas, novas e eficientes para os problemas do desenvolvimento. Neste cenário, a teleinformática teria um papel central no armazenamento, tratamento e disseminação de conhecimento para a educação, treinamento, pesquisa e desenvolvimento, aprimoramento de mercados e aumento da eficácia da produção.

Neste trabalho realizado por Wright e Johnson (1984), em cada cenário, o provável perfil dos consumidores e da demanda por serviços de telecomunicações é delineado através de uma pesquisa pelo método Delphi (consulta estruturada a grupo de especialistas), e as necessidades

tecnológicas e a postura estratégica das empresas do setor podem ser analisadas. Produtos e serviços a desenvolver, segmentos de mercados prioritários e áreas de concorrência ficam caracterizados, e as potencialidades e deficiências das empresas do setor foram avaliadas em relação aos cenários alternativos para o ano 2000.

Um enfoque cada vez mais utilizado em diversos centros de pesquisa e universidades como método simplificador é associar a técnica de cenários à análise do desempenho ambiental pelo uso da ferramenta de ACV. Muitos autores vem publicando sobre esta nova abordagem (BECCALI et al., 2010; HERTWICH et al., 2015; GIRGENTI et al., 2014; HONG, 2010; THIBODEAU; MONETTE; GLAUS, 2014; BENETTO et al., 2004a; BENETTO et al., 2004b; SONG; HYUN, 1999; CLUZEL et al., 2014). Segundo Palma, Armando e Nogueira (2009), existem várias discussões relacionadas ao impacto que esse novo enfoque poderia ter sobre os resultados e os objetivos da avaliação de ciclo de vida, ferramenta estruturada pela ISO 14040.

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, existe pouca aplicação deste tipo de enfoque, isto devido a não existir alguma base de dados com a informação referente às contas econômicas e ambientais integradas, o que dificulta este tipo de estudo e análise. Na União Europeia, no seu interesse de melhorar o desempenho ambiental, a competitividade dos produtos consumidos e a qualidade de vida de seus habitantes, implementou-se a Política Integrada do Produto que visa reduzir os impactos ambientais de produtos e serviços ao longo do seu ciclo de vida, utilizando instrumentos de gestão que atuem na produção (desenvolvimento de produtos, fabricação e distribuição/venda) e no consumo de produtos (padrões de consumo, mercados).

Desde essa perspectiva, a criação de uma base de dados de inventários de ciclo de vida das principais atividades econômicas brasileiras (projeto em andamento) e a publicação das contas ambientais poderiam ajudar no desenvolvimento de pesquisas e na elaboração de estudos relacionados à *desempenho* das atividades econômicas brasileiras. A existência destas bases de dados poderia facilitar o uso da técnica de modelamento de cenários para tomada de decisão e, dessa maneira, projetar e caracterizar em nível mundial a competitividade ambiental dos produtos e serviços brasileiros, atendendo exigências do mercado internacional.

Um trabalho muito citado foi realizado por Ciroth (2009). Neste trabalho os custos foram os aspectos centrais na medição da ecoeficiência, tanto no que diz respeito a avaliar a agregação de valor nos processos produtivos como no que diz respeito à uma das dimensões utilizadas na

medição da ecoeficiência. Para ele vários aspectos afetam a qualidade dos dados de custo, tais como a definição das quantidades medidas, o tempo e o espaço e a confidencialidade dos dados. O autor detectou que surpreendentemente às vezes a qualidade dos dados de custo recebe pouca atenção no campo da sustentabilidade e ecoeficiência. Esta deficiência talvez esteja associada com a falta de ferramentas adequadas para este tipo de análise.

Algumas instituições vêm consolidando a utilização da análise da ecoeficiência com ACVs e ACCV. O instituto alemão ÖkoInstitut vem utilizando este sistema desde o início dos anos 2000. A técnica é utilizada para definição de prioridades nas decisões de compra ou pode ser usada para mostrar potenciais de otimização em desenvolvimento de produtos e processos. Neste caso, a análise de ecoeficiência baseia-se no uso de dois métodos: LCA, de acordo com a ISO 14040 (para avaliar os aspectos ambientais de produtos e processos) e ACCV para avaliar o custo do ciclo de vida. O resultado de ambos são representados em uma única figura para um ou vários atores.

Os impactos ambientais podem ser avaliados e agregados como um único resultado ou os resultados dos indicadores de categoria de impacto podem ser mantidos separados. Em ambos os casos duas pontuações individuais podem ser comparados: o total dos resultados dos indicadores das categorias de impacto e total dos custos de propriedade das alternativas em estudo. Os resultados podem em seguida ser representados graficamente em gráficos bidimensionais que mostram a eficácia de determinadas medidas em termos ambientais e econômicos. A eficácia é expressa como uma relação numérica de poupança ambiental a diferença de custos. Junto ao fornecimento dos resultados mais detalhados é possível fazer uma discussão sobre os benefícios adicionais ou barreiras potenciais. A análise da ecoeficiência amplia a base para os processos de decisão (RUDENAUER, 2005).

Um trabalho que realizou uma extensa revisão de modelamentos já publicados para ecoeficiência de produtos e materiais de engenharia foi realizado recentemente por Simões, Pinto e Bernardo (2012). O trabalho conclui que os estudos de ACV permitem compreender todos os processos relevantes e impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida dos produtos. No entanto, a fim de avaliar plenamente a sua sustentabilidade, esses estudos devem ser complementados por estudos econômicos (ACCV) e análises sociais. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar todos os custos (internos e externos) e do desempenho ambiental associado para o ciclo de vida completo de produtos de engenharia específicos. Estes produtos

foram colunas de iluminação feitas com três materiais diferentes: um polímero reforçado com fibra de vidro composto, aço e alumínio. A metodologia de ACCV utilizada foi integrada à ACV com base em uma avaliação "*cradle-to-grave*" (berço ao túmulo) que considera a produção de matérias-primas, fabricação, instalação no local, uso e manutenção, desmantelamento e em fim de vida ("*End of Life – EoL*") das colunas de iluminação. A categoria de impacto ambiental combustíveis fósseis foi selecionado como a chave para obtenção do indicador de impacto ambiental para executar a análise integrada com a análise de custos. Os resultados permitem afirmar que os potenciais custos totais obtidos para o ciclo de vida completo com a iluminação de colunas demonstrou que a coluna feita em aço tem um desempenho globalmente pior do que aquelas feitas em compósito ou de alumínio.

Embora os três sistemas apresentem muitas semelhanças como custos internos, a coluna de aço tem custos externos mais elevados na fase de uso, o que contribui para o seu maior custo total. Esta coluna tem custos muito elevados associados às características de segurança, uma vez que constitui um risco significativo para a vida dos indivíduos. A etapa de obtenção das matérias-primas da coluna e etapa de produção são o principais contribuintes para o total dos custos internos do ciclo de vida. O tratamento de fim de vida (EoL) é uma fonte de rendimento em todos os sistemas, porque gera energia (no caso de o composto de incineração) ou materiais (no caso da reciclagem de metais). O compósito das colunas de iluminação de alumínio apresentam similar custo total do ciclo de vida.

No entanto, é na fase de desmontagem que a coluna de alumínio apresenta a maior impacto ambiental, enquanto que na fase de tratamento EoL este cenário é invertido. O custo potencial total do ciclo de vida "do berço ao túmulo" e o indicador do impacto ambiental (combustíveis fósseis) da coluna de iluminação de aço são mais elevados do que os de outras colunas. O trabalho conclui que, embora as incertezas na ACCV sejam maiores se os custos externos são incluídos, a sua contabilização ao modelar o desempenho econômico de produtos de engenharia aumenta a probabilidade de se desenvolver uma solução mais sustentável a partir de uma perspectiva social.

Em particular, o trabalho de Kicherer et al. (2007) estabelece que a análise de ecoeficiência e de cenários é uma poderosa ferramenta de apoio à decisão para várias estratégias e questões de marketing. Desde o seu desenvolvimento acadêmico original, a abordagem foi refinada durante a última década, e aplicada a uma multiplicidade de projetos. A BASF é, possivelmente, a

empresa que mais usa e desenvolve esta ferramenta. A empresa já aplicou a ecoeficiência para abordar mais de 300 projetos nos últimos 7 anos. Uma das maiores dificuldades é cobrir ambas as dimensões da ecoeficiência (custos ou valor agregado e impacto ambiental) de uma maneira comparável. Isto é particularmente um desafio para a análise de ecoeficiência de produtos. Nesta publicação, uma importante abordagem e campo de aplicação foi lidar com decisões sobre produtos com base na combinação de Custo do Ciclo de Vida (ACCV) e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), descrevendo-a em detalhe. Especial ênfase é colocada sobre a avaliação quantitativa da relação entre os custos e os impactos ambientais.

Na ACV convencional, uma avaliação das categorias de impacto ambiental é muitas vezes feita pela normalização com equivalentes por habitante e pontos de impacto. Isto é necessário para permitir a comparação de diferentes categorias de impacto ambiental, pois há diferenças entre as unidades dos impactos em cada categoria. Para a análise de ecoeficiência proposta, os custos de produtos ou processos e Produto Interno Bruto são normalizados em gráficos adaptados. A relação entre categorias de impacto ambiental e os custos são normalizados e utiliza-se uma apresentação gráfica simples dos resultados em uma carteira de ecoeficiência. Para a interpretação dos resultados de uma análise de ecoeficiência, é importante distinguir as taxas que são mais elevadas das proporções mais baixas. No primeiro caso, o impacto ambiental é maior do que o impacto sobre os custos, enquanto que o inverso é verdadeiro no segundo caso. Isto é muito importante para a definição de que tipo de melhoria é necessário e definir as decisões estratégicas de gestão. O documento mostra uma avaliação estatística das taxas com base em resultados de diferentes análises de ecoeficiência feitas pela BASF.

Para indústrias baseadas em grandes fluxos de materiais (por exemplo, produtos químicos, aço, metais, agricultura), as taxas são tipicamente maior do que um. Finalmente o documento mostra que a ACCV e ACV podem ser combinados de forma que espelhem o conceito de ecoeficiência. ACVs que não consideram a ACCV podem ser de uso muito limitado para a gestão da empresa. Por isso mesmo, as empresas devem instalar um sistema de gerenciamento de dados que assegure a igualdade de informação em ambos os lados da moeda da ecoeficiência Kicherer et al. (2007).

No Brasil, uma grande revisão das técnicas de prospecção e análise de cenários futuros nos governos e administração pública foi publicada por Mendonça (2011). Em linhas gerais, o autor estabelece que no estado atual da ciência da administração, em particular, e das ciências sociais,

em geral, acumula uma série de experiências, técnicas e conceitos sobre estudos de cenários futuros.

Há diversos registros de que estudos prospectivos têm sido utilizados na Administração Pública e nos Governos brasileiros como ferramenta de suporte para decisões de longo prazo e planejamento das instituições políticas da União, Estados e Municípios. Estes esforços têm sido empreendidos visando subsidiar os responsáveis pela elaboração e aprovação de políticas públicas de informações que colaborem na formulação de cenários futuros e consequente diminuição de incertezas sobre mudanças culturais, demográficas, sociais e econômicas que estão ocorrendo ou poderão ocorrer, ou ainda, sobre o tipo de influência ou alterações que poderão ser causadas pelas próprias políticas públicas pensadas e implementadas na atualidade por estas instituições. Portanto, não se trata apenas de prospecção, mas da construção de um futuro possível.

Assim, os cenários nos ajudam a construir as mudanças que desejamos que aconteçam no futuro, servindo inclusive para a elaboração e análise de alternativas de ação (WRIGHT, 2008). O referencial teórico do artigo utiliza-se da produção nacional no campo da Administração de Empresas com fundamental participação da produção disponível no site da Fundação Instituto de Administração da Universidade de São Paulo no Programa Profuturo. O artigo apresenta o resultado de um levantamento dos trabalhos publicados nos principais meios de divulgação da produção científica brasileira, dedicados exclusivamente aos campos da Administração Pública e Governo, durante o período de 2001 a 2010. Onde se buscou identificar os trabalhos cujos conteúdos, objetivos ou metodologias tenham abordado a questão da prospecção ou análise de cenários futuros, buscando identificar as contribuições dos artigos quanto ao uso dos procedimentos e métodos de pesquisa aplicados. Verificou-se que a Administração Pública e as Instituições Políticas brasileiras utilizam as técnicas de prospecção e que o Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração (EnANPAD), de periodicidade anual, e o Encontro de Administração Pública e Governança (EnAPG), de periodicidade bienal, foram as principais formas de divulgação de estudos prospectivos nos últimos anos e que os artigos encontrados e analisados mostram que tanto técnicas quantitativas como qualitativas são utilizadas e que o arcabouço teórico existente possibilita o uso de métodos quali-quantitativos quando os objetivos das pesquisas assim exigirem.

2.9 Considerações a Respeito do Referencial Teórico

A revisão da literatura foi importante para sinalizar como os principais constructos participarão das formulações do método e das análises que seguem nos capítulos seguintes. Como contribuição final do capítulo, o **Quadro 6** expressa um resumo dos principais eixos teóricos e as contribuições de cada um dos autores estudados.

A apresentação da complexidade do setor de iluminação pública foi necessária para dar uma ideia da emergência de soluções para o setor.

Procurou-se apresentar o conceito de ecoeficiência, suas peculiaridades e potenciais como ferramenta de apoio à tomada de decisão em investimentos de recursos públicos, num mundo que cada vez mais incorpora suas responsabilidades com relação ao meio ambiente. Observou-se que a aplicação deste conceito praticamente inexistente para o setor de Iluminação Pública. Para o setor de iluminação em geral, verificam-se diferenças metodológicas e de escopo com constatação de divergências e lacunas sobre como considerar o desempenho ambiental e econômico da iluminação.

Para auxiliar uma aplicação mais sistemática do conceito de ecoeficiência em IP, realizou-se um estudo sobre a qualidade em produtos e serviços de iluminação a fim de se identificar quais seriam os critérios necessários e suficientes para a definição da qualidade de iluminação para o usuário final. Este foco permitiu uma abordagem metodológica consistente, pois referenciou a análise de ecoeficiência para um dado desempenho ambiental e econômico, considerando a mesma qualidade do serviço para o usuário final. Deste modo, permite, inclusive, comparar diferentes concepções de projeto de iluminação pública.

Finalmente, uma vez identificados os principais aspectos para potencializar a aplicação do conceito de ecoeficiência no setor de iluminação a partir do pensamento de ciclo de vida, é requerida uma técnica para orientar o tomador de decisão, seja ele um projetista do produto (“*designer*”), da instalação (especificador) ou apenas o tomador de decisão ou gestor do serviço de iluminação. Incluiu-se então um estudo sobre a técnica de análise de cenários de interesse para amparar a análise dos dados de ecoeficiência gerados. Esta técnica permite tratar problemas com objetivos múltiplos (maximização de desempenho, maximização da qualidade, minimização de impactos ambientais e minimização de custos, dentre outros) e de natureza

sequencial das decisões (uma decisão implica nas demais). Outra vantagem é a de que permite comparar no longo prazo as decisões com alternativas complexas envolvendo seus riscos e incertezas. Também há que se levar em consideração que a técnica permite lidar com várias perspectivas dependendo dos tomadores de decisão. Esta técnica de análise de cenários para tomada de decisão mostrou-se eficaz como alternativa em situações onde não há uma receita que permita uma avaliação isenta, com soluções de consenso.

Procurou-se apresentar o conceito de ecoeficiência, suas peculiaridades e potenciais como perspectiva para tomada de decisão em gestão de recursos públicos, num mundo que cada vez mais incorpora suas responsabilidades com relação ao meio ambiente.

A extensa pesquisa sobre o uso de ACVs e ACCVs em iluminação, e em particular, para iluminação pública, teve por objetivo mapear as lições aprendidas e seu potencial para incorporá-las no método de trabalho. Sem este ponto de partida dificilmente se poderia adquirir capacidade de uso dessas técnicas, dada a variedade de possibilidades e “armadilhas” das técnicas aprendidas. Sem elas dificilmente poder-se-ia estabelecer indicadores de desempenho ambiental e econômico, objetivos e eficazes, na medição da ecoeficiência.

Finalmente, a apresentação de uma revisão sobre as técnicas utilizadas foi relevante para subsidiar o leitor na compreensão das opções que se fez no método. As visões apresentadas para os protocolos de inventário de emissões e a sua utilização na elaboração de cenários completa, no entender do autor, os pré-requisitos para medir ecoeficiência na prática, em um setor, com uma aplicação que tende a se tornar uma referência para os gestores.

.

Eixo Teórico	Principais Contribuições	Autor (es)
Sustentabilidade Urbana – SU	Dicotomia entre “economia urbana” e “ecologia urbana”	Globe Group, 2015
	Paradigma econômico dominante e abordagem ecológica	Constanza, 2015
	Produção econômica como consumo por processos unidirecionais e irreversíveis	Georgescu-Roegen, 1975; Daly, 1989; Rees, 1990
	Conceito de "capital natural" e conceito de capacidade de suporte das cidades	Rees, 1992b
	Economia ecológica e os dinamismos ecológicos nos processos econômicos	Van Den Bergh, 2001; Turner, Perrings e Folke 1997; Sahu e Nayak, 1994
	A economia comportamental na abordagem “intra-disciplinar” da economia ambiental e da economia ecológica	Venkatachalam, 2007
	Cidades e os serviços ambientais de sua vizinhança	Mcphearson et al., 2015
	Diagnóstico: áreas urbanas concentram 80 por cento da produção econômica, entre 60 e 80 por cento do consumo de energia, e aproximadamente 75 por cento das emissões de CO ₂ equivalentes	United Nations Environmental Programmes, 2011
	Cidades como demandadoras de recursos naturais e provedoras de soluções eficientes	UN-Habitat, 2015a, Dodman, 2009
	Cidades e desafios atuais e futuros em infraestrutura e energia	UN-Habitat, 2015a, UN-Habitat, 2015b; UN-Habitat, 2015c
	Mitigação dos impactos ambientais e redução da vulnerabilidade de populações	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2007
	Triângulo do planejador urbano	Campbell, 1996
	Avaliação integrada da sustentabilidade de cidades	Rotmans, Van Asselt e Vellinga, 2000
	Indicadores centrais para a avaliação integrada da sustentabilidade urbana	Ravetz, 2000
	Avaliação integrada da sustentabilidade no contexto urbano	Walton, El-Haram e Castillo, 2005
	Suporte à tomada de decisão em sustentabilidade urbana	Wiek e Binder 2005
	Diagnóstico da sustentabilidade de cidades	Grimm et al. 2008

Continua

Continuação do Quadro 6.

Eixo Teórico	Principais Contribuições	Autor (es)
Ecoeficiência - EE e suas Aplicações	Diferenciação dos custos ou benefícios privados dos sociais	Cechin, 2010
	Sustentabilidade fraca	Solow, 1974
	Sustentabilidade forte	Pearce, 1993
	Lançamento do termo ecoeficiência	Schmidheiny, 1992
	Ecoeficiência como ferramenta quantitativa	Ehrenfeld, 2005
	Indicadores de sustentabilidade	Bellen, 2005
	Oportunidades de ecoeficiência	World Business Council For Sustainable Development, 2005
	Técnica para calculo da ecoeficiência e ACV	International Organization For Standardization, 2012
SU e indicadores de EE	O papel dos indicadores de sustentabilidade urbana	Keirstead e Leach, 2008
	Sustentabilidade fraca contra sustentabilidade forte e	Neumayer, 2004
	Importância relativa dos domínios sociais, econômicos e ambientais	Giddings; Hopwood; O'Brien, 2002; Stanners et al. 2007
	Sustentabilidade e adaptação	Newman, 2007
	Proteção dos sistemas ecológicos e sua capacidade de carga	Ludwig, 1997; Holden e Linnerud, 2007; Kallio, Nordberg e Ahonen, 2007
	Princípios pelos quais a cidade poderia reger-se no sentido da sustentabilidade	Haughton's, 1999
	A importância de intervenientes locais	Camagni et al., 1998
	Métricas como evidencia de sucesso em políticas públicas	Astleithner et al., 2004
	Medição de ecoeficiência como medida de sucesso de políticas públicas	City of Cape Town, 2002; SFOC, 2004; City of Melbourne, 2005; Hong Kong SDU, 2005; London Sustainable Development Commission, 2005
	Métricas de ecoeficiência e suas figuras de mérito	Mega, 2005 e DTI 2006
	Uso de métricas de ecoeficiência como atributo da confiabilidade da gestão	Atkisson, 1996; Maclaren, 1996
	Relativização de métricas para ecoeficiência em uso de energia	Keirstead, 2013
	A busca de novos conceitos para dar efetividade à ação de agentes públicos em ecoeficiência	Junnila e Ristimäki., 2012

Continua.

Continuação do Quadro 6.

Eixo Teórico	Principais Contribuições	Autor(es)
EE e Gestão de Serviços Públicos	EE em gestão de reservas florestais (primeiro estudo com EE em serviços públicos)	Pan et al., 2006
	EE em gestão de resíduos	Da Guabiroba et al., 2014; Soares et al., 2013
	EE em desenvolvimento regional	Zhu et al., 2014; Gorobets, 2011; Bridges e Curran, 2007
	EE em gestão de fornecedores do setor público	Lawrence et al., 2011; Vercalsteren et al., 2010
	EE no setor de transportes	Lee et al., 2011; Wahlgren, 2009
	EE em geração de energia	Mudd e Diesendorf, 2008
Serviço de Iluminação Pública – IP	Impacto do uso de eletricidade para IP	Rutter e Keirstead, 2012
	Gastos de eletricidade com IP no Brasil	Empresa de Pesquisa Energética, 2013
	Gastos de eletricidade com IP em SP	Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, 2011
	Cadeia produtiva da indústria de iluminação	Associação Brasileira da Indústria da Iluminação, 2005; Global Compass, 2011
	Importância da IP para municípios	Barandier et al., 2013
	Perfil atual de cargas de IP no Brasil	Soares, 2015
	Evolução da tecnologia	U.S. Department Of Energy, 2012b
	Usos finais de iluminação no mundo	Young, 2012
	Aspectos legais do mercado brasileiro	Agência Nacional de Energia Elétrica, 2010
	Especificações para qualidade da iluminação para usuários	Commission Internationale de L'Eclairage, 2002; 2010
	Associação entre parâmetros do ambiente luminoso e da sensibilidade humana	Gligor, 2004
	Relações entre luz e iluminação, desempenho de tarefas, saúde e bem-estar	Goodman et al., 2006
	Eficiência energética em serviços de IP	Ministério de Minas e Energia, 2007

Continua.

Continuação do Quadro 6.

Eixo Teórico	Principais Contribuições	Autor(es)
EE em IP	Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P)	Barata, Kligerman e Minayo-Gomez, 2007
	Discussão de conceitos para taxa de valor	Vogtländer, Brezet e Hendriks, 2001
	Avaliação de desempenho energético	Cucchiatti, Griffa e Radice, 2007
	Discussão sobre o futuro da indústria de iluminação	Franceschini e Pansera, 2013
	Avaliação da evolução da inovação em iluminação	Franceschini e Pansera, 2015
	Estudos para IP com foco no usuário e eficiência energética	U.S. Department Of Energy, 2015
EE com uso de ACVs em IP	Protocolo genérico aplicável	Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009
	Aspectos práticos de ACVs	Seo e Kulay, 2006
	ACV como ferramenta de ecodesign	Chehebe, 1997
	Relação entre ACV e ACCV e suas implicações na definição de Unidade Funcional	Beccali et al, 2010; Hertwich et al, 2015; Girgenti et al 2014; Hong, 2010; Thibodeau et al, 2014; Benetto et al, 2004a; Benetto et al, 2004b; Song et al, 1999; Cluzel et al, 2014; Norris, 2000
	Especificidades da aplicação de ACV em Iluminação Pública	Young, 2012
	Parâmetros aplicáveis às especificações da Unidade Funcional em IP	Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012
	Unidade Funcional em ACVs de serviços públicos com foco no usuário	Hartley, Jurgens e Zatzoff, 2009; Kortman, Van Kampen e Verhoef, 1997; Menet, 2012; Tähkämö, 2012; Vito, 2007a; 2007b; 2009; Chan, 2012; Sanchez Junior, 2010; Simões, 2012; Onaygil, Güler e Erkin, 2012
Utilização de Cenários para Tomada de Decisão	Elaboração de Cenários prospectivos	Grisi e Britto, 2003
	Fatores-chave da elaboração de cenários	Schoemaker e Van Der Heijden, 1992
	Uso de cenários para identificação de missão e estratégias empresariais	Wright e Johnson, 1984
	Cenários com EE, ACV e AACV	Ciroth, 2009; Rudenauer, 2005
	Tratamento EoL com cenários	Simões, Pinto e Bernardo, 2012
	EE e cenários para suporte à decisão	Kicherer et al., 2007
	Cenários na administração pública	Mendonça, 2011
	Prospecção e simulação de cenários futuros	Wright, 2008

Quadro 6 – Resumo da revisão bibliográfica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 MÉTODO

Este capítulo é dedicado à apresentação da natureza da pesquisa, da estratégia metodológica e dos procedimentos para coleta, tratamento e análise de dados.

3.1 Natureza da Pesquisa

Quanto à sua natureza, essa pesquisa pode ser classificada como quanti-qualitativa. Em algumas etapas a ênfase foi quantitativa, ou seja, caracterizada pelo emprego de instrumentos estatísticos no processo de coleta e tratamento dos dados. Em outras etapas pode ser caracterizada como qualitativa, ou seja, a pesquisa consultou especialistas e referências bibliográficas da área.

Quanto à abordagem do problema, este estudo se insere no campo da pesquisa aplicada, cujo objetivo é utilizar o conhecimento gerado pela pesquisa básica para resolver problemas relacionados a aplicações concretas.

Do ponto de vista metodológico trata-se de um experimento que envolve uma etapa inicial de formulação conceitual apresentada no capítulo de referencial teórico, seguida de uma etapa empírica de coleta, tratamento e análise de dados sobre ecoeficiência, em diferentes concepções de projetos. Esta abordagem pareceu a mais adequada, já que o objetivo de experimentos é, ao invés de testar ou confirmar hipóteses previamente estabelecidas por meio do tratamento estatístico dos dados, é o de procurar padrões e ideias, propor um modelo de análise e testá-lo.

3.2 Fontes dos Dados

Quanto à fonte de dados, esta pesquisa utilizou dados primários, ou seja, dados obtidos diretamente em campo. Foi feita uma pesquisa com o diretor do ILUME com o objetivo de obtenção de informações sobre valores típicos das variáveis de gestão da iluminação pública, tais como custo de manutenção, investimentos, insumos e pagamentos de serviços de terceiros.

Foram coletados também dados primários no Laboratório de Equipamentos Elétricos e Óticos do Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT), acreditado na Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio do Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO). O objetivo foi a obtenção de informações sobre desempenho energético e aspectos associados à qualidade dos projetos de iluminação (curva fotométrica). Além disso, foram obtidos dados necessários para a avaliação do desempenho ambiental, tais como a presença de materiais como mercúrio e a massa dos componentes tais (como quantidade de alumínio usada em cada produto). Essas informações são detalhadas no capítulo de apresentação dos dados.

Os dados secundários foram obtidos por meio de obras bibliográficas e relatórios de pesquisas anteriores sobre o tema e utilizados para estabelecer valores típicos dos parâmetros utilizados na análise.

Especificamente para a realização do experimento, os dados secundários foram obtidos a partir de um caso real de edital da parceria público-privada (PPP) que irá conceder a empresas ou consórcios a gestão e renovação do sistema de iluminação pública da cidade de São Paulo. Utilizou-se o universo de todas as respostas ao edital, consubstanciadas na forma de propostas de projetos inicialmente qualificadas para, dentre outras obrigações, prover a substituição de 620 mil lâmpadas na cidade, além da criação de 76 mil novos pontos de luz em até cinco anos. A partir do sexto ano, deverão ser implantados 1.300 pontos de iluminação por ano até o fim do contrato. Desta forma, em 2035, de acordo com o edital, São Paulo deverá ter pelo menos 715.500 lâmpadas a LED. As informações sobre as propostas estão disponíveis para consulta pública no *website* da Prefeitura do Município de São Paulo. Este caso é apresentado em detalhes no **APÊNDICE C**.

A escolha pelo caso da cidade de São Paulo cumpriu o papel de justificar o modo de validação do trabalho, mas também porque se trata da maior cidade da América Latina e do Hemisfério

Sul. É um “hub” de negócios e um centro de inovação. Assim sendo, o que acontecer na cidade, suas decisões e acertos (ou erros) poderá se tornar um exemplo de modelo de gestão e também das tecnologias empregadas.

3.3 Estratégias Metodológicas do Estudo

As estratégias metodológicas são descritas nos subitens a seguir. Em termos resumidos, para a avaliação do desempenho ambiental de um empreendimento do setor de iluminação pública, se utilizou a abordagem de ACV e o aspecto emissões de CO₂ equivalentes como indicador de seu desempenho ambiental. A avaliação econômica foi baseada no conceito de ACCV, e utilizou-se a análise financeira pelo VPL como indicador de seu desempenho. Para a aplicação dos principais resultados obtidos se utilizou a técnica de análise de cenários de interesse.

Pelo fluxograma apresentado na **Figura 18** é possível verificar a estratégia geral utilizada. O referencial teórico estabeleceu as bases para o modelamento da análise. Configurando-se o modelamento, partiu-se para o experimento, utilizando-se, como já ciado, um caso real da Prefeitura do Município de São Paulo para testar o protocolo proposto. Os resultados deste teste e sua avaliação como técnica de suporte ao gestor público permitiu validar a proposição do protocolo.

Figura 18 – Estratégia geral utilizada para o trabalho.

Fonte: elaborado pelo autor.

3.4 Modelo Conceitual do Estudo

Como o objetivo geral desta pesquisa foi identificar, analisar e avaliar parâmetros técnicos que definam o grau de ecoeficiência (parâmetros econômicos e ambientais) dos projetos de IP, a fim de permitir a distinção e orientar a escolha entre diferentes propostas de soluções tecnológicas para empreendimentos, inicialmente a preocupação foi estabelecer uma concepção para os aspectos (e seus indicadores objetivos) a serem utilizados na comparação e, posteriormente, desenvolver uma ferramenta de fácil aplicação. O **Quadro 7** apresenta um modelo conceitual do estudo, que relaciona as etapas da pesquisa aos objetivos específicos, propõe uma operacionalização dos mesmos com base na revisão da literatura e define as técnicas de análise para cada uma das etapas..

Etapas do Modelo	Objetivos	Operacionalização dos Objetivos	Técnicas de Análise
Modelamento da análise	Estudar técnicas aplicáveis para EE	Identificação de conceitos e ferramentas para uso da ACCV em análise econômica	Busca estruturada e análise bibliométrica de textos da base de dados Scopus.
		Identificação de conceitos e ferramentas para uso da ACV e Inventário de Emissões para análise ambiental	Busca estruturada e análise bibliométrica de textos da base de dados Scopus.
	Definir ferramentas de análise e proposta de protocolo	Definição da variável e ferramenta para desempenho econômico	Análise bibliométrica em textos de autores citados.
		Definição da variável e ferramenta para desempenho ambiental	Análise bibliométrica em textos de autores citados.
		Definição de uma Unidade Funcional e sequência para análise	Análise bibliométrica e pesquisa aplicada em trabalho de mestrado do autor.
		Utilização de cenários para análise de decisão	Análise bibliométrica em textos de autores citados.
Experimento para análise de projetos de IP	Aplicar proposta de protocolo	Escolha do caso	Estudo de Caso (levantamento de dados secundários e aplicação de protocolo).
		Definição da Unidade Funcional utilizada	Pesquisa qualitativa (análise bibliométrica em textos de autores citados e entrevista em profundidade).
		Avaliação do desempenho econômico	Aplicação de ferramenta de análise em dados disponíveis.
		Avaliação do desempenho ambiental	Aplicação de ferramenta de análise em dados disponíveis.
		Determinação da ecoeficiência dos projetos de IP propostos	Aplicação de ferramenta de análise em dados disponíveis.
Validação do Protocolo proposto	Avaliar aplicabilidade e sensibilidade	Comparação da ecoeficiência de projetos de IP	Normalização de dados obtidos e correlacionamento em gráficos 2D.
		Análise para cenários de interesse de gestores de serviços de IP	Análise bibliométrica em textos de autores citados e pesquisa qualitativa (entrevista em profundidade).
	Gerar subsídios para gestores do serviço de IP	Potencializadores e inibidores da aplicação do protocolo proposto	Observação direta.
		Sugestões para desenvolvimento da técnica	Observação direta e Pesquisa qualitativa (entrevista em profundidade).

Quadro 7 – Matriz dos objetivos, questões de pesquisa e técnicas utilizadas.

Fonte: elaborado pelo autor.

OBS: Análise bibliométrica aqui é entendida, basicamente, como a identificação de similaridades e peculiaridades de elementos em textos de autores citados, relacionados com o tema em análise, e apresentados no referencial teórico e apêndices A e B.

No âmbito da construção do referencial teórico, o estudo das iniciativas publicadas permitiu estabelecer os contornos e os meios considerados mais adequados à análise do empreendimento de Iluminação Pública, com ênfase em ecoeficiência. No roteiro sugerido, a análise do desempenho ambiental é realizada simultaneamente à análise do desempenho econômico. Optou-se por utilizar um único indicador para o desempenho econômico, Valor Presente Líquido (VPL), e um único indicador para o desempenho ambiental (Emissões de CO₂ equivalentes). Este foco permitiu simplificar a comparação entre a continuidade da situação sem empreendimento (linha de base) e a(s) solução(ões) propostas e inclusive ranqueá-las. Os ganhos e as limitações deste recorte são discutidos nas conclusões. Desta forma, obteve-se a qualidade de neutralidade, objetividade e proficiência técnica de indicadores (ASTLEITHNER et al., 2004).

Definidos os indicadores, partiu-se para a escolha das ferramentas ou meios para contabilizá-los num primeiro momento para posteriormente correlacioná-los para identificar os padrões de ecoeficiência em cada situação.

A avaliação ambiental foi realizada com a utilização dos procedimentos propostos pelo GHG Protocol Brasil (para mais detalhes, vide **APÊNDICE D - Inventários para o Aspecto Ambiental Emissões de GEE**), com a respectiva planilha que é disponibilizada em site público.⁹ A avaliação econômica foi realizada com o desenvolvimento de uma planilha apropriada para contabilizar o fluxo de caixa das entradas e saídas econômicas convencionais de qualquer empreendimento. Acrescentou-se nesta planilha as entradas e saídas associadas às externalidades (tal como valor do crédito de carbono) valorizadas como impactos financeiros da gestão ambiental do empreendimento, seguindo o protocolo do World Business Council for Sustainable Development (2005), harmonizado com as recomendações da Environment Protection Agency (1995) e da Comissão das Comunidades Europeias (2001).

⁹ Foi concebido um sistema de produto considerando-se toda a infraestrutura de iluminação, e este sistema foi inventariado. Para a avaliação econômica considerou-se todos os fluxos financeiros deste sistema que considera o ciclo de vida da instalação (ferramenta para cálculo do VPL) durante 20 anos. Para a avaliação ambiental, considerou-se as emissões de CO₂ deste mesmo sistema de produto, no mesmo tempo. Para contabilizar as emissões foram considerados todos os fluxos do ciclo de vida da instalações. Então, como definido mais adiante (item definição dos parâmetros da avaliação ambiental) foi realizado um modelamento de ACV para calcular a ecoeficiência.

A elaboração e aplicação desta planilha para avaliação econômica, assim como a análise dos dados obtidos com cada proposta de empreendimento realimentaram a sua customização de modo a facilitar seu preenchimento.

Finalmente estabeleceram-se alguns cenários prováveis que poderiam alterar a análise dos desempenhos de cada proposta de empreendimento. Utilizou-se a abordagem de cenários que ajudam a construir as mudanças que se desejam que aconteçam no futuro, servindo inclusive para a elaboração e análise de alternativas de ação (WRIGHT, 2008). Esta última análise permitiu a concluir pelas recomendações para projetistas e gestores de empreendimentos de Iluminação Pública.

Desta forma fica demonstrada a viabilidade do uso do roteiro proposto como técnica para a comparação da ecoeficiência de diferentes propostas para um mesmo empreendimento. Esta sequência poderá ser observada em termos de fluxograma de trabalho na **Figura 19** a seguir.

3.5 Avaliação Econômica

A avaliação econômica clássica leva em conta os custos operacionais, receitas e investimentos ao longo do período de contrato do empreendimento. Para a presente análise acrescentou-se os custos, receitas e investimentos associadas à gestão do ciclo de vida dos produtos e processos que ocorrem ao longo do período de contrato do empreendimento (denominados Custo do Ciclo de Vida), uma vez que estas podem oferecer uma visão do impacto financeiro da gestão ambiental sobre o desempenho do empreendimento¹⁰.

Para a realização da Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) normalmente utiliza-se um sistema de produto ou serviço, agregando-se as dimensões próprias para a avaliação econômica, inclusive utilizando-se recursos de softwares. O esquema da **Figura 19** ilustra os principais fluxos econômicos a serem inventariados nestes casos.

¹⁰ Empreendimento aqui é entendido como ação para viabilizar uma infraestrutura e sua gestão. A gestão ambiental do serviço proporcionado por esta infraestrutura, a partir do pensamento do ciclo de vida pressupõe o cuidado com todas as fases, inclusive com resíduos gerados.

Figura 19 – Esquema para realização da ACCV.

Fonte: Tradução de Rebitzer e Hunkeler, 2003

As categorias de fluxos econômicos a serem inventariadas e/ou estimadas podem ser classificadas em 5 categorias (ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY, 1995):

- **Categoria 1 (direto):** Os custos diretos de investimento de capital, trabalho, matéria-prima e descarte de resíduos. Podem incluir os custos recorrentes e não recorrentes. Inclui tanto o capital como os custos de Operação e Manutenção (O & M);
- **Categoria 2 (indireto):** Os custos indiretos não atribuídos diretamente ao produto ou processo (associados ao custo direto). Podem incluir os custos recorrentes e não recorrentes. Inclui tanto o custo do capital e os custos de O & M;
- **Categoria 3 (contingente):** Custos contingentes, como multas e penalidades, custos de limpeza, passivos, danos pessoais forçados e danos materiais passivos;
- **Categoria 4 (intangível):** custos difíceis de medir, incluindo a aceitação do consumidor, fidelização de clientes, a moral do trabalhador, relações sindicais, bem-estar do trabalhador, imagem corporativa, relações com a comunidade;
- **Categoria 5 (externo):** Custos suportados por outras partes que não a empresa ou interessado (por exemplo, a sociedade).

Como o atual trabalho é exploratório, estabeleceu-se que os custos modelados seriam aqueles classificados como categorias 1 e 2, ou seja, aqueles mais fáceis de contabilizar. Para a avaliação, foram utilizados três critérios básicos de análise de investimentos nos cenários considerados, a saber:

- Critério do Valor Presente Líquido (VPL) ou Valor Atual;
- Critério da Taxa Interna de Retorno;
- Critério do Payback Descontado.

Esses critérios levam em consideração a taxa mínima de atratividade (TMA) que é a taxa mínima que o investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento. A visualização do problema envolvendo receitas e despesas que ocorrem em instantes diferentes do tempo foi possível com a representação gráfica por diagramas de fluxo de caixa. Portanto, os recebimentos a serem auferidos (entradas de recursos) e todos os pagamentos a serem realizados (saída de recursos) serão visualizados nas datas de lançamento e representamos com setas para cima para um recebimento (positivo) e setas para baixo no caso de pagamentos (negativo). Uma fórmula para cálculo do VPL pode ser vista a seguir.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Equação 1 – Cálculo do VPL.

Onde:

- FC é o fluxo de caixa no período t ;
- t é o n ésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto (começa no período 1, quando há efetivamente o primeiro fluxo de dinheiro);
- n é o número de períodos t ;
- i é o custo referencial do capital.

Esta fórmula também pode ser utilizada para um investimento inicial. Neste caso basta acrescentar este membro no segundo lado da equação. Na análise econômica pelo Valor Presente Líquido (VPL), o valor presente de um projeto é o valor presente (data 0) de seu fluxo de caixa, valor este obtido mediante o desconto do fluxo de caixa a uma taxa que reflita o custo de oportunidade do capital investido. Quanto maior o valor presente, melhor é o projeto do ponto de vista financeiro. Para gestores de serviços de iluminação, caso existam duas ou mais formas de investimento, seria escolhida aquela que possuir o maior valor presente líquido. No caso de haver apenas uma alternativa para o projeto, o VPL de seu fluxo de caixa indicará se o projeto é viável, inviável ou indiferente (caso $VPL > 0$, o projeto é viável; $VPL < 0$, o projeto

é inviável e se $VPL = 0$, o projeto é indiferente). Neste tipo de análise utiliza-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para efetuar o transporte¹¹ dos valores.

Na análise econômica pela Taxa Interna de Retorno (TIR), o objetivo é obter a taxa de desconto que anula o valor presente líquido do fluxo de caixa do investimento. A TIR é aquela que torna $VPL = 0$. Para calcular a TIR é preciso aplicar o método de aproximações sucessivas e encontrar a taxa que satisfaz a seguinte equação:

$$VPL = 0 = \text{Investimento Inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \quad (2)$$

Equação 2 – Condição para cálculo da TIR.

Onde:

- F_t é o fluxo de saída do caixa (pode-se dizer que o Investimento Inicial = F_0).

A TIR é obtida resolvendo esta expressão. Este tipo de análise é aplicável a várias situações, tais como quando existe apenas uma alternativa de investimento e esta foi considerada viável se a taxa interna de retorno for maior que um valor aceitável (Taxa Mínima de Atratividade, ou remuneração média do dinheiro no mercado de aplicações financeiras), o qual representa o custo de oportunidade do capital. Ou seja, se $TIR > TMA$, então o projeto é economicamente viável. Se $TIR = TMA$, então o projeto é indiferente. Se $TIR < TMA$, então o projeto é economicamente inviável. Na literatura recomenda-se, para projetos excludentes e independentes, a utilização também da TIR Incremental. O método da TIR Incremental é uma variante da TIR e pode ser usado sempre que forem comparadas alternativas de ação que possuam investimentos iniciais diferentes, onde estas alternativas serão consideradas heterogêneas. A TIR Incremental é a TIR referente ao acréscimo da receita de um investimento em relação ao outro, considerando-se para isso o investimento incremental para obtê-la. (CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 1994; ROSS, WESTERFIELD; JAFFE, 1995;

¹¹ Neste caso se está referindo ao uso desta TMA como referência calculada ano a ano para se comparar com os resultados que seriam obtidos com o uso financeiro do dinheiro em aplicações do mercado de investimentos.

LAPPONI, 2000). Neste trabalho utilizou-se a TIR por se entender que o método já permite distinguir adequadamente diferentes opções de investimentos.

Na análise econômica pelo Payback Descontado, obtém-se o tempo necessário para recuperação do investimento.

Uma fórmula para cálculo do PB pode ser vista a seguir.

$$PB = T \quad \text{quando} \quad \sum_{t=0}^T FC_t = I_0 \quad (3)$$

Equação 3 – Cálculo do Payback – PB.

Onde:

- PB = período de “payback” ou de recuperação
- T = tempo
- FC_t = Fluxo de Caixa total no ano t
- I_0 = Investimento inicial ou FC_0

O Payback descontado atualiza os fluxos de caixa por meio de operações de desconto racional composto. Em suma, o Payback Descontado é o tempo decorrido até que o VPL (Valor Presente Líquido) se iguale ao investimento inicial do projeto em análise.

Para o desenvolvedor de produtos, este processo permitirá escolher os materiais que comporão o produto e testar várias soluções de projeto óptico que, sem comprometer a qualidade, possam tornar o processo produtivo menos oneroso.

O **Quadro 8** a seguir expressa as características para cada uma das técnicas mencionadas.

Método	Aplicação	Vantagens e desvantagens
PB	Iniciativas de baixo valor para ambientes de risco elevado e projetos de tempo curto	<p>Vantagens:</p> <p>Fornecer uma ideia do grau de liquidez e de risco do projeto;</p> <p>É uma forma de aumentar a segurança dos negócios;</p> <p>Adequado à avaliação de projetos em contexto de risco elevado;</p> <p>Adequado à avaliação de projetos com vida limitada;</p> <p>Desvantagens:</p> <p>Não ter em conta os fluxos de caixa gerados depois do ano de recuperação, tornando-se assim, desaconselhável na avaliação de projetos de longa duração.</p> <p>O PB valoriza diferentemente os fluxos recebidos em diferentes períodos, mas apenas segundo o critério dualista: antes ou depois do PB, sendo indiferente o período em que recebe dentro de cada um destes intervalos.</p>
VPL	Iniciativas de alto valor e alto risco	<p>Vantagens:</p> <p>Conceitualmente mais perfeito e complexo que o período de retorno uma vez que considera a totalidade dos fluxos assim como o custo de oportunidade do capital utilizado;</p> <p>Método simples de aplicar, uma vez parametrizado (com TIR);</p> <p>Desvantagens:</p> <p>O pressuposto da constância no tempo da taxa de atualização pode não ser realista, pois o custo do capital varia no tempo, assim como as taxas para as aplicações alternativas variam no tempo com as condições dos mercados financeiros;</p> <p>O VPL assume implicitamente que é necessário decidir em permanecer ou desistir do investimento, no entanto, esse pressuposto não é realista, pois a decisão pode ser adiada a fim de se obter informações adicionais;</p> <p>É impossível estabelecer um valor normativo diferente de zero para o VPL abaixo do qual os projetos não deverão ser aprovados;</p> <p>O método não é conclusivo quando é aplicado a projetos alternativos com vidas económicas substancialmente diferentes.</p>
TIR	Avalia preliminarmente ou permite simples verificação	<p>Vantagens:</p> <p>Por apresentar uma taxa como resultado, a TIR possibilita que os gestores a identifiquem claramente e possam compará-la com a taxa estabelecida para o custo de capital.</p> <p>Desvantagens:</p> <p>TIR assume que os fluxos de caixa são reinvestidos à sua própria taxa, ou seja, que os mesmos serão descontados a partir da taxa calculada (TIR modificada);</p> <p>Quando ocorrem mudanças de sinal no fluxo de caixa, existe a possibilidade de ser gerada uma TIR a cada mudança, o que dificulta a análise de viabilidade do projeto.</p>

Quadro 8 – Comparação de Métodos para análise económica.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Casarotto Filho e Kopitke, 1994; Ross, Westerfield e Jaffe, 1995; Lapponi, 2000.

Todos os trabalhos que reportam estudos com a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida utilizam o método VPL, além disso, há uma convergência para esta técnica pois constitui um indicador facilmente utilizável para efeito da análise da ecoeficiência de empreendimentos (KICHERER, 2007). Há que se considerar também que todos os principais protocolos (já mencionados) utilizam e recomendam este método.

A planilha desenvolvida é apresentada e comentada na seção onde se apresentam os resultados e nos anexos.

Portanto, entende-se que, para o gestor de serviços e instalações, este processo permitirá ranquear produtos em licitações e definir parâmetros econômicos para avaliar a viabilidade do empreendimento.

3.6 Avaliação Ambiental

Devido à clareza e à objetividade na alocação das emissões, além da grande aceitabilidade que este protocolo vem adquirindo, optou-se por utilizá-lo como um protocolo para avaliar o indicador de Gases de Efeito Estufa a compor a análise de ecoeficiência. Para simplificar a análise, por esta ser exploratória, optou-se por contabilizar as emissões de CO₂ equivalentes das propostas de empreendimentos nos 3 escopos, o que seria facilmente utilizável para efeito da análise da ecoeficiência de empreendimentos (KICHERER, 2007).

Para o presente trabalho, no escopo 1 contabilizou-se as emissões associadas com a fabricação de produtos adquiridos que substituiriam as tecnologias instaladas (fase de fabricação dos produtos novos), atendendo ao disposto no protocolo do World Business Council for Sustainable Development (2005). No escopo 2 contabilizou-se as emissões associadas com a compra e uso de energia elétrica (fase de uso dos produtos para iluminação). No escopo 3 contabilizou-se as emissões associadas com o tratamento de resíduos gerados durante as atividades do projeto (fase de descarte dos produtos a serem substituídos).

A apresentação e um resumo do preenchimento desta planilha, que é uma ferramenta aberta e disponível on-line no site do Programa Brasileiro GHG Protocol (<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/>) pode ser verificada na seção de resultados e anexos

(para mais detalhes vide **APÊNDICE G - Extrato de Planilhas do GHG Protocol Brasil, tela de entrada..**

3.7 Definição de uma Unidade Funcional Adequada

A utilização do GHG Protocol para realização do inventário de emissões pressupõe um sistema de produto de onde fluem as emissões a serem contabilizadas. O modelo de sistema utilizado é o conceito de sistema de produto da técnica de ACV. Em ACVs é necessário definir uma unidade funcional que represente o escopo do trabalho, como já abordado.

Existem requisitos próprios e normas técnicas que devem ser respeitados a fim de que as escolhas se recaiam sobre produtos que apresentam segurança, durabilidade, confiabilidade e outras qualidades que não estão ligadas diretamente ao serviço usufruído pelo usuário, mas impactam a gestão financeira e o retorno do investimento, por exemplo, e devem ser consideradas na definição da Unidade Funcional que ocorre na primeira fase (Fase 1) de um estudo de ACV.

Apesar de ser muito comum o desenvolvimento do foco na tecnologia ou no produto de iluminação pública, apenas esta abordagem é insuficiente para a realização de uma ACV qualificada e abrangente. Com apenas esta abordagem se exclui algumas dimensões, como a estética e o exercício de uma série de capacidades visuais, que influenciam de forma poderosa para o resultado pretendido com os serviços de iluminação.

Pelo foco no serviço ou usuário, o objetivo é capturar e traduzir no âmbito da ACV todos os aspectos (ou pelo menos os principais) que influenciam no resultado efetivo dos serviços de iluminação para o usuário final que, no final das contas, é o principal interessado numa gestão ambientalmente e economicamente responsável do serviço.

A **Figura 20** ilustra um roteiro possível. Pelo foco na tecnologia, o objetivo é entender e desenvolver uma avaliação dos meios adequados para o serviço de iluminação.

Figura 20 – Roteiro proposto para a Fase 1 de ACVs na área de iluminação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O roteiro propõe passo-a-passo a construção das especificações que, completas, comporão a definição da Unidade Funcional adequada.

Nos aspectos comuns aos dois focos, tais como a definição da região geográfica e período a ser considerado, configuração das tecnologias e instalações a ser consideradas, o nível de detalhe dos processos a serem mapeados (profundidade da ACV) e as etapas do ciclo de vida que comporão o sistema de produto (extensão da ACV), o roteiro ajudaria nas definições devido ao fato de que os dois focos já teriam definido as principais dependências. Ao final deste roteiro proposto, uma contraposição das definições com os objetivos iniciais seria realizada a fim de se verificar a satisfação deles. Caso negativo, outra rodada seria realizada até se obter consistência e harmonia. Eventualmente o mesmo caminho poderia ser percorrido por outro estudo, realizado por outra equipe, e, se comparados, poderiam levar a requisitos equivalentes ou mesmo semelhantes. Isto facilitaria enormemente o intercambio deste tipo de conhecimento.

Para o presente caso, como se trata de uma pesquisa exploratória, há que se preocupar com a validação do protocolo de análise proposto. Visando superar esta necessidade, optou-se por definir uma unidade funcional que traduzisse os contornos de um empreendimento que seria objeto de análise na validação do protocolo. Por este motivo optou-se pela definição de uma Unidade Funcional que representasse o objeto da futura Parceria Público Privada (PPP) para os serviços de Iluminação Pública da cidade de São Paulo, pois as propostas para este empreendimento estão disponíveis e poderiam servir à validação.

A fim de se representar o objeto de interesse da licitação para substituição do sistema atual de iluminação, o escopo da análise incluiu na Unidade Funcional subsistemas descritos a seguir. Como o empreendimento envolve um período de vinte anos, ao longo dos quais se substituirão todo um sistema físico por um outro mais moderno, o escopo da análise teve que incluir parte do ciclo de vida de um sistema já instalado e em funcionamento (incluindo substituição de equipamentos antigos por outros novos mas com tecnologia ultrapassada, ou seja luminárias com lâmpadas de descarga, enquanto o cronograma de substituição completa não atinge cinco anos) e parte de um sistema que será instalado mas que terá seu fim de vida para além do contrato da PPP (mais que vinte anos).

A **Figura 21** a seguir, ilustra o escopo analisado para a Unidade Funcional.

Figura 21 – Escopo da sistema analisado.

Fonte: elaborado pelo autor.

Como se pode observar pela representação do escopo de análise, devido à ausência de dados organizados e objetivos para o caso brasileiro, estão fora do sistema os processos de extração de materiais e produção de componentes para a tecnologia de luminárias com lâmpadas de descarga de alta intensidade, que serão substituídas ao longo dos primeiros cinco anos do projeto. Estão fora também os processos de extração de materiais e produção de componentes para a tecnologia que será instalada e também o processo de descarte e reciclagem desta tecnologia uma vez que se espera que o ciclo de vida desta nova tecnologia atinja um período maior do que vinte anos (contrato da PPP). Sistemas de logística reversa ficaram fora do escopo por inexistirem neste setor. Existe uma negociação das associações do setor junto ao MMA e ao MIC para implementar uma solução completa como resposta à Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Os documentos referentes à preparação da PPP e à sua licitação, todos disponíveis no site da prefeitura (<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/>) fornecem os elementos básicos para a Unidade Funcional – UF que para este trabalho foi definida como:

“Eficientização de 561.490 pontos de iluminação pública existentes, com previsão de ampliação para 637.490 em cinco anos, incluindo a sua operação, com a qualidade mínima exigida na norma ABNT NBR 5101:2012, durante 20 anos.”

Esta definição implica que a avaliação econômica e ambiental deverá partir de uma situação existente que será referenciada como “linha de base” ou “situação atual” para prever todos os fluxos financeiros e de aspectos ambientais que ocorrerem a partir do início da vigência até 20 anos de duração do empreendimento, para cada proposta de PPP. Portanto, é importante frisar que a linha de base em si é uma opção de empreendimento, no sentido de que não havendo contratação de PPP, a modernização, otimização, expansão, operação e manutenção da rede de Iluminação Pública deverão ocorrer da forma como consta da Política de Desenvolvimento Urbano e do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2014), seguindo as mesmas exigências de qualidade.

3.8 Avaliação de Cenários para Tomada de Decisão

A utilização de cenários é pertinente devido ao alto grau de imprevisibilidade da economia e dos rumos dos movimentos em prol da sustentabilidade ambiental da sociedade. Ao gestor de serviços públicos cabe tomar a decisão de sua responsabilidade com o melhor embasamento nas práticas vigentes e nas informações disponíveis. Tendo em vista a necessidade de gerar informações para suporte à decisão, estabeleceu-se três cenários a saber:

- **Cenário 1:** “Ecodesenvolvimento”, caracteriza uma sociedade que busca o desenvolvimento sustentável, seja do ponto de vista ambiental, seja do ponto de vista econômico. Neste cenário considera-se que haverá iniciativas, programas governamentais e mudança de comportamentos no que diz respeito a hábitos de consumo e produção, com o surgimento de novos valores que permitiriam a autossuficiência e o desenvolvimento baseado em recursos e soluções próprias em nível regional e nacional, com grande valorização da ecoeficiência de serviços e produtos.
- **Cenário 2:** “Deterioração Econômica” caracteriza uma sociedade em que predomina a visão do desenvolvimento como consequência estrita da saúde econômica. Neste cenário, considerando uma crise econômica, haveria deterioração do padrão de vida da população brasileira, regreção da integração internacional da economia, baixa eficiência da indústria nacional e ampliação de custos para serviços públicos.
- **Cenário 3:** “Modernização a serviço do usuário”, o desenvolvimento da sociedade ocorreria com amplo uso da informação e do conhecimento para gerar soluções criativas, novas e eficientes para os problemas do desenvolvimento, da segurança e do bem estar da população, que por sua vez valorizaria esta opção. Neste cenário, a

teleinformática teria um papel central no armazenamento, tratamento e disseminação de conhecimento para o aprimoramento de serviços públicos e de produtos que atendam mais diretamente a necessidade do usuário.

Os parâmetros utilizados para a realização da análise econômica e ambiental foram customizados para cada cenário com base em informações colhidas em consulta não estruturada a especialistas e na literatura especializada do setor de iluminação (catálogos, revistas e artigos técnicos). Não se realizou um estudo profundo da propabilidade de ocorrência de cada cenário pelo fato de ser este um trabalho exploratório. No entanto é recomendável esta providência para um futuro estudo. Deste modo, seus efeitos foram registrados nos indicadores de ecoeficiência (VPL e Emissões de GEE para cada proposta de solução). Assim foi possível avaliar como as concepções utilizadas em cada solução proposta favorecem ou não a sua ecoeficiência.

3.9 Protocolo Proposto

A análise da ecoeficiência pode ser realizada conforme um roteiro (**Figura 22**) que procura orientar a análise, passo a passo, para que ela possa ser reproduzida em outras situações ou mesmo verificada por terceiros mediante sua reaplicação. A vantagem é que, com as ferramentas utilizadas, é possível facilmente mudar cenários, corrigir parâmetros e se adaptar a análise para todas as situações de decisão sobre empreendimentos em Iluminação Pública.

A seguir descrevem-se estes passos.

- **Passo 1:** os parâmetros e fronteiras devem ser definidos. O objetivo do empreendimento deve ficar claro e a Unidade Funcional necessária para orientar as ACVs devem ser explicitamente definidas. As entradas e saídas relevantes devem ser diagnosticadas e as ferramentas a serem utilizadas na análise devem ser conhecidas e devem permitir gerar resultados “ranqueáveis”.
- **Passo 2:** a linha de base da análise (situação atual ou situação de referência) deve ser bem definida. Um inventário das instalações e do padrão tecnológico vigente deve ser realizado e todos os recursos que devem ser objeto de alterações (tecnologias, procedimentos, recursos, etc.) devem ser inventariadas.

- **Passo 3:** o mesmo do Passo 2 deve ser realizado para as soluções propostas. Todas as alterações devem ser inventariadas e as características dessas soluções devem ser conhecidas, tanto quanto as características do padrão vigente. A qualidade do serviço para o usuário deverá estar considerada nas soluções propostas, uma vez que o presente protocolo estabeleceu este eixo como um discriminador das soluções.
- **Passo 4:** podem ser feitas simultaneamente, inclusive por equipes de competências diferentes, as análises ambiental e econômica, talvez o passo mais importante e complexo. Para a análise ambiental, como já proposto, utiliza-se o GHG Protocol Brasil, que disponibiliza uma ferramenta on-line de fácil acesso e preenchimento. Os dados a serem inseridos na ferramenta do GHG Protocol contemplam as emissões do final do ciclo de vida dos equipamentos a serem substituídos e as emissões associadas à fabricação dos equipamentos novos, atendendo ao disposto no protocolo do World Business Council for Sustainable Development (2005) e World Resources Institute (2014). Os dados para os escopos 1, 2 e 3 devem estar disponíveis ou senão devem ser obtidos junto ao gestor do serviço ou ainda com consulta à literatura especializada¹². Para a análise econômica, é necessário estabelecer uma planilha com definição das entradas e saídas econômicas (incluindo aquelas ambientais valoradas economicamente), realizar a alocação destas entradas e saídas num fluxo de caixa para o tempo de duração do contrato e realizar a avaliação econômica com o cálculo do VPL (alternativamente pode-se complementar esta análise com o cálculo da TIR e do Payback). A planilha desenvolvida neste trabalho pelo autor poderá ser utilizada como modelo.
- **Passo 5:** plotar em gráfico, com normalização dos dados, as séries obtidas. Para cada proposta de solução haverá uma medida do indicador de desempenho ambiental (emissões de CO₂ equivalentes) e uma medida associada do indicador de desempenho econômico (VPL). Deve-se plotar também a linha de base da análise (situação atual ou situação de referência).
- **Passo 6:** o gestor deve ser consultado sobre suas expectativas e necessidades com relação à tomada de decisão em pauta. Os cenários desenvolvidos neste trabalho podem ser oferecidos ou outros podem ser desenvolvidos. Para a aplicação de cada cenário, os parâmetros iniciais da instalação devem ser customizados conforme os impactos esperados.

¹² Aqui é uma indicação de que, não havendo dados primários, deve-se buscar referências que indicam os consumos dos equipamentos (catálogos técnicos, artigos técnicos, etc). No limite deve-se estimar o consumo individualizado e somar as estimativas para toda a infraestrutura.

- **Passo 7:** uma análise comparativa das soluções (entre si) e com a linha de base deverá ser conduzida avaliando-se as distancias década desempenho plotado no gráfico. Neste momento, hipóteses poderão ser formuladas para identificar as possíveis razões para o deslocamento do desempenho da ecoeficiência comparada com a proposta inicial (sem os cenários). Estas hipóteses poderão identificar as causas e as diferenças de concepção em cada proposta de solução. São estas razões um poderoso apoio às decisões a serem tomadas pelo gestor.
- **Passo 8:** finalmente, baseado nas análises do passo anterior, um conjunto de recomendações poderá ser realizado ao gestor do serviço para promover a sua ecoeficiência.

Os passos descritos estão representados no fluxograma de **Figura 22** a seguir.

Figura 22 – Roteiro proposto para análise da ecoeficiência.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.10 Validação do Protocolo

A validação do protocolo de análise da ecoeficiência de propostas para atendimento da Unidade Funcional estabelecida foi realizada aplicando-o às 11 propostas de empreendimentos surgidos no CHAMAMENTO PÚBLICO nº 01/SES/2013 - Processo nº 2013-0.270.788-0, destinado a apresentação, por eventuais interessados da iniciativa privada, de estudos técnicos e modelagem de projetos de Parceria Público-Privada (PPP) para Modernização, Otimização, Expansão, Operação e Manutenção da Infraestrutura da Rede de Iluminação Pública do Município de São Paulo, de acordo com as exigências estabelecidas, aplicando-se as regras dispostas no Decreto Municipal nº 51.397, de 2010, Lei Municipal nº 14.517, de 2007. As propostas foram analisadas e qualificadas para avaliar a aplicabilidade do protocolo, o que dependeu das informações tornadas públicas pela própria Prefeitura de São Paulo no site do Ilume.

A prefeitura também disponibilizou no mesmo local as informações utilizadas para a definição da linha de base da análise (situação atual ou situação de referência) e todos os proponentes tiveram acesso aos dados para realizar sua proposta de solução. Para preservar as empresas, estabeleceu-se uma numeração aleatória para cada proposta a fim de garantir o foco na validação do protocolo de análise e não necessariamente no ranqueamento das soluções propostas.

As conclusões relativas a este procedimento foram relatadas no capítulo das conclusões do presente trabalho.

4 RESULTADOS

Para implementação do método de análise proposto, conforme apresentado no capítulo anterior, foi necessário conhecer o objeto de análise, a saber as propostas de projetos submetidas ao edital da parceria público-privada (PPP) que irá conceder a empresas ou consórcios a gestão e renovação do sistema de iluminação pública da cidade de São Paulo, bem como identificar as configurações dos parâmetros necessários para sua aplicação. A seguir são descritas as especificidades do objeto de análise e as configurações realizadas para viabilizar a implementação do método.

4.1 As 11 Propostas de PPP para IP de São Paulo

As propostas geradas pela consulta pública foram disponibilizadas pela prefeitura, assim como a síntese das contribuições e uma análise prévia sobre este resultado (para conhecer melhor esta iniciativa, consultar o **APÊNDICE C** - O caso da PPP de São Paulo).

O resultado do Chamamento Público para IP de São Paulo resultou no acolhimento de 11 propostas de soluções originadas de 11 empresas e/ou consórcios, a saber:

- Kirchner Consultoria em Energia Ltda.;
- Pedace Engenharia e Consultoria Ltda.;
- GE Iluminação do Brasil Comércio de Lâmpadas Ltda. E Citéluz Serviços de Iluminação Urbana S.A. e Andrade Gutierrez – Engeform;
- AES Serviços TC Ltda. Philips do Brasil Ltda.;
- Paulista Business e BM6 Empreendimentos Ltda.;
- Consórcio: Alusa Engenharia S.A., J&F Infraestrutura e Construções S.A. e FM Rodrigues & Cia. Ltda.;
- CPFL Serviços, Equipamentos Indústria e Comércio S.A.;
- ELETRO FASE Construções e Engenharia Elétricas Ltda.;
- Unicoba Energia;
- KPMG Structured Finance S.A.;
- Consórcio - Sistema Pri Engenharia Ltda. e Brookfield Serviços Financeiros Ltda.

A análise prévia realizada pela prefeitura das propostas apresentadas focou no escopo de cada proposta comparando-o ao escopo do edital e pode ser resumida pelo **Quadro 9**.

O documento emitido denominado ANÁLISE PRELIMINAR DOS ESTUDOS TÉCNICOS realizado pela Prefeitura, concluiu que o Chamamento Público em seu edital de convocação, deixaram abertas as possibilidades de exploração de diversas tecnologias e modelos, sem prévia definição do poder público, como estratégia para que os estudos trouxessem as mais diversas opções existentes no mercado, cada uma com respectiva modelagem econômica, financeira, jurídica e de riscos.

Desta forma a Comissão Especial de Avaliação (CEA), criada especialmente para esta finalidade, foi bastante assertiva em promover a abordagem das potencialidades da Rede de Iluminação Pública como eixo estruturante de cidades inteligentes – “*smart cities*”, tendência já identificada e de possível alcance e execução, tanto em virtude das tecnologias existentes, quanto ao fato das mesmas tecnologias não mais apresentarem valores proibitivos para projetos deste porte. Esta comissão também deu grande importância para a questão da telegestão, contemplando-a na totalidade da solução, uma vez que é nos locais mais distantes e menos habitados, que esta função tem um grande valor junto ao cidadão, pois “*Atender melhor ao cidadão é o principal objetivo deste projeto*”.

O município de São Paulo, que tem o maior parque de Iluminação Pública da América Latina, torna-se atrativo a ponto de despertar o mercado para seu caso, sendo ainda capaz de frear iniciativas paralelas, que ficam dependendo das soluções que serão adotadas na cidade, e que servirão de modelo a outras cidades dentro e fora do país.

O texto do chamamento é considerado inédito pois desafia o mercado a fornecer a solução na modalidade por serviço – incluindo inclusive a proposição de métricas de medição e verificação conforme a iluminância entregue, realça que o entendimento do problema atingiu alto nível de profundidade.

Independentemente da variedade de soluções apresentadas ter gerado mais trabalho à comissão que analisou as propostas, ela permitiu ao Poder Público colher uma riqueza ainda maior nos conteúdos recebidos, os quais puderam ser desenvolvidos e explorados por livre criação dos

Agentes Empreendedores. O resultado da liberdade de criação oferecida, foi a mais vasta gama de escopos e aplicações para Iluminação Pública e sua Rede de Telegestão e Controle.

No **Quadro 9** resume-se uma análise dos escopos das propostas apresentadas enquanto conceito. Neste, os escopos são sempre tratados em sentido horizontal e vertical, em caráter de *amplitude*, e *profundidade* respectivamente. A amplitude trata da diversidade de itens relacionados ao objeto em tela, enquanto a profundidade dita o quão minucioso cada um destes itens foi explorado.

ESCOPOS ABORDADOS NOS ESTUDOS												
	AES/PHILIPS	ELETROFASE	KIRCHNER	UNICOBÁ	PEDACE	SISTEMA PRI	KPMG	RENOVA	CPFL	GE CITELUZ	LUZES PAULISTANAS	ITENS ATENDIDOS
ILUMINAÇÃO PÚBLICA - I.P.	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	100,00%
CADASTRO	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	100,00%
TELEGESTÃO	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	100,00%
C.C.O.'s	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	100,00%
CONECTIVIDADE	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	100,00%
ENTERRAMENTO	NN	NN	SS	NN	NN	NN	NN	NN	NN	SS	SS	27,27%
PRÉDIOS PRÓPRIOS	NN	NN	SS	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN	SS	18,18%
WI-FI GRATUITO	NN	NN	NN	NN	NN	NN	SS	SS	NN	NN	NN	18,18%
TELEMETRIA	NN	NN	NN	NN	SS	SS	SS	NN	SS	NN	NN	36,36%
OUTRAS APLICAÇÕES	SS	NN	SS	SS	SS	SS	SS	SS	NN	SS	SS	81,82%
PLATAFORMA MULTISERVIÇOS	SS	NN	NN	SS	SS	SS	SS	SS	NN	NN	SS	63,64%

Quadro 9 – Escopos abordados nos estudos.

Fonte: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013b.

Legenda: SS (atende), NN (não atende)

Segundo a comissão, fica demonstrado na tabela, que a amplitude dos estudos está representada quase em sua totalidade, à exceção apenas de serviços muito específicos tais como parquímetros em estacionamentos, controles de frotas e controles semaforicos dentre outros, os quais não foram considerados item a item pois entenderam tratar-se de escopos com forte distanciamento da rede de iluminação pública e dos seus objetos, porém foram considerados como um item único de escopo chamado **Outras Aplicações**. A ultima coluna do quadro mostra o percentual de itens atendidos pelas propostas.

No tópico **Outras Aplicações**, agruparam aqueles serviços acessórios citados como possíveis mesmo que em caráter exemplificativo, porém evitando citar serviço a serviço para não

ultrapassar uma barreira inteligível da amplitude do escopo. Delimitaram assim, que os tópicos citados como escopo estariam minimamente relacionados com a Iluminação Pública ou sua estrutura direta de funcionamento. Tópicos relacionados, mas que tenham identidade negocial distinta, foram agrupados como Outras Aplicações.

Já no tópico **Plataforma Multisserviços**, agruparam-se todas as propostas que citaram ser possível a criação desta plataforma, como estrutura destinada a múltiplos serviços, sem que sejam necessariamente especificados. Em muitos estudos, foram citados exemplos de aplicação, que independente de descrição foram pontuados no presente tópico.¹³

O fato é que, para a comissão, a análise percentual final mostra que entre 63% e 81% dos proponentes citam tais possibilidades em seus estudos, ou seja, de fato é correto pensar na estruturação da rede de Iluminação Pública, pensando em estruturação de Cidades Inteligentes, o que de forma híbrida pode ser feito no uso compartilhado da estrutura de Iluminação, pelos serviços acessórios que dela podem se valer.

Considerou-se que estes serviços possuem como característica, a capacidade de serem explorados de forma derivada do escopo principal – Iluminação Pública. Eles podem ser geridos por secretarias da administração pública direta e indireta, e que tenham capacidade técnica e gestora para abordar tais temas, por estarem contidos em suas atribuições e especialidades.¹⁴

O que permeia a definição de absorver ou não um item de escopo, não é somente a capacidade tecnológica de absorvê-lo, mas sua aderência ao objeto principal e principalmente a capacidade e/ou a legitimidade do órgão contratante em receber e tratar tal objeto, dentro de suas atribuições.

¹³ A unidade funcional da ACV foi definida a partir das especificações do gestor, então estas informações vão impactar o escopo da análise, e consequentemente, a unidade funcional (o que entra e o que sai de sua especificação).

¹⁴ Estes serviços acessórios não impactam a unidade funcional mas se desempenham algum serviço ambiental (por exemplo, diminuição de tempo de carros parados no farol, sensoramento do nível e identificação de fontes de emissão de CO₂, etc.), em tese podem impactar a ecoeficiência.

Estas questões também devem ser consideradas e ponderadas quando do ranqueamento da ecoeficiência das propostas, uma vez que podem, à luz da vontade do gestor, compensar eventuais diferenças com propostas menos ricas em soluções e versatilidade.

O principal ponto de atenção desta análise refere-se ao fato de os cinco primeiros tópicos terem atingido 100% dos estudos apresentados. Iluminação Pública, Cadastro, Telegestão, Centro de Controle Operacional (CCO) e Conectividade são itens componentes da grande solução almejada para a Iluminação Pública de São Paulo e estes foram os pontos a merecerem maiores atenção na avaliação econômica. A este grupo de serviços a comissão denominou Escopo Principal. Percebe-se também que nem todos os estudos abordaram estes cinco tópicos com a mesma profundidade. Porém, o fato de terem sido citados como formadores da solução, traduz para a comissão a certeza de que o mercado, por meio dos Agentes Empreendedores, é capaz de pensar e planejar de forma alinhada com os anseios do Município.

Apesar da aparente satisfação da Comissão Especial de Avaliação (CEA) com o retorno do mercado, pelas informações disponibilizadas não se encontrou uniformidade na disposição, ordenamento e amplitude de dados. Por exemplo, quatro consórcios e/ou empresas não apresentaram proposta financeira ou não disponibilizaram os dados completos, o que inviabilizou seu uso para o objetivo deste trabalho. Portanto, além da avaliação da linha de base (situação atual ou de referência), foi possível ranquear a ecoeficiência de sete propostas de soluções de forma completa.

4.2 Inventários para a UF Definida

A **Tabela 5** expressa um inventário não detalhado das tecnologias envolvidas na infraestrutura de iluminação a serem substituídas, mantidas ou modernizadas.

Tabela 5 – Inventário da infraestrutura de iluminação.

Descrição	Quantidade
Unidades de Iluminação Pública	534.005
Sustentação	515.815
Luminárias	560.443
Lâmpadas	561.490
Condutores (metros)	12.899.741
Caixas de passagem	112.343
Transformadores	15.924

Fonte: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013c.

Como se pode verificar, levando em consideração a quantidade de lâmpadas existentes (561.490), o quadro da um dos dados mais importantes para compor a descrição da infraestrutura associada à Unidade Funcional para a análise. Pela tabela observa-se que uma unidade de Iluminação Pública pode conter mais de uma luminária e uma luminária pode conter mais de uma lâmpada. Um inventário detalhado das tecnologias vigentes e estoques de materiais poderá ser verificado no **ANEXO A** do presente trabalho, que é um extrato do documento citado como fonte.

Todas as propostas foram analisadas no que diz respeito às tecnologias propostas para substituição destas luminárias e lâmpadas, além de outras não existentes, o que permitiu avaliar que existe um universo bem amplo de soluções e tecnologias e que certamente estas se diferenciam na qualidade, custo e consumo de energia.

4.3 Aplicação do Protocolo Proposto

Para aplicação do protocolo proposto foi necessário identificar e definir uma série de parâmetros que permitissem a comparação das soluções sob uma mesma matriz, por um mesmo tempo de duração de contrato. Foi desenvolvida uma planilha que permitisse simular diferentes parâmetros para, desta forma, avaliar a sensibilidade do processo. Os parâmetros identificados e definidos estão na **Tabela 6**. Os parâmetros marcados com uma tarja verde são dados que devem ser introduzidos pelo analista e os campos sem a tarja verde são parâmetros derivados, calculados de outras já introduzidos na planilha.

Tabela 6 – Parâmetros para as análises econômicas e ambientais.

#	Dados da instalação	valor atual	Origem do dado
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	Calculado pela planilha desenvolvida
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013d
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	Calculado pela planilha desenvolvida
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013d
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	Calculado pela planilha desenvolvida
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	Calculado pela planilha desenvolvida
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013a
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013a
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013a
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013a
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013a
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013a

continua

Tabela 6 – Parâmetros para as análises econômicas e ambientais

(continuação)

13	Dados da instalação	valor atual	Origem do dado
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	Calculado pela planilha desenvolvida
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	Entrevista Ilume, 2014
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	Calculado pela planilha desenvolvida
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	Calculado pela planilha desenvolvida
18	Ilume: custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	Calculado pela planilha desenvolvida
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013a
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	Consulta a sites de compra e notas fiscais do LEO
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	Site da ABAL
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	Sanchez Junior, 2010
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	Sanchez Junior, 2010
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	Site da BM&F
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	0,000135467	Site do GHG Protocol Brasil
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	Prefeitura Municipal de São Paulo, 2013a
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	Média no site da Fipe
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	Site da Aneel
29	Peso médio por W consumido (kg)	0,056708995	Sanchez Junior, 2010, catálogos e notas fiscais do LEO

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além dos dados acima, os parâmetros da **Tabela 7** foram utilizados para avaliação ambiental e econômica associados às entradas e saídas do ciclo de vida do produto.

Tabela 7 – Parâmetros utilizados para avaliação ambiental e econômica associados às entradas e saídas do ciclo de vida do produto.

#	Luminárias existentes	valor	Origem do dado
30	Estimativa da emissão em kg de CO ₂ equivalentes por kg da luminária fabricada:	1,01E+01	Sanchez Junior, 2010
31	Estimativa da emissão em kg de CO ₂ equivalentes por kg de resíduo tratado:	7,55E-01	Sanchez Junior, 2010
32	Estimativa da emissão em kg de CO ₂ equivalentes por kg de resíduo reciclado (e-waste):	3,14E-01	Sanchez Junior, 2010
33	Custo do processo de tratamento de resíduos por lâmpada	R\$ 1,00	Mourão e Seo, 2012
34	Custo do processo de tratamento de resíduos por kg (e-waste):	R\$ 1,25	Kang e Schoenung, 2006
#	Luminárias propostas (a LED)	valor	Origem do dado
35	Estimativa da emissão em kg de CO ₂ equivalentes por kg da luminária fabricada:	2,10E+00	Navigant, 2009
36	Estimativa da emissão em kg de CO ₂ equivalentes por kg de resíduo tratado:	5,50E-02	Navigant, 2009
37	Estimativa da emissão em kg de CO ₂ equivalentes por kg de resíduo reciclado (e-waste):	5,71E-04	Navigant, 2009
38	Custo do processo de tratamento de resíduos por kg (e-waste):	R\$ 1,25	Kang e Schoenung, 2006

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realizar a alocação adequada dos impactos e custos, desenvolveu-se uma planilha de inventários que deve ser preenchida para a linha de base e também para a proposta de solução. O modelo encontra-se no **APÊNDICE E - Planilha de Inventário da linha de base ou situação atual (Tabela 11)**.¹⁵

4.3.1 Avaliação Econômica

Para avaliação econômica, desenvolveu-se uma planilha própria. Todos os dados dos parâmetros foram transcritos no modelo de planilha desenvolvida, cujo aspecto geral está no **APÊNDICE F - Planilha de dados desenvolvida para suporte à análise econômica e ambiental**. Nesta planilha todas as linhas devem ser preenchidas a menos daquelas com tarjas azuis. Estas são calculadas pela própria planilha. O preenchimento deve ser realizado tanto para a situação vigente (linha de base ou situação atual) quanto para a situação pretendida em cada proposta.

¹⁵ Cada proposta foi estudada de modo a viabilizar o preenchimento de uma mesma planilha. Senão não daria para comparar. As informações necessárias foram buscadas nos documentos de cada empresa proponente e essa foi uma dificuldade neste trabalho. As informações não estavam no mesmo local e nem sempre estavam explícitas, mas todos os dados foram encontrados. As propostas incompletas ou que não possuíam os dados requeridos para a análise foram descartadas (três propostas estavam nesta categoria, de 11 sobraram 8)

4.3.2 Avaliação Ambiental

Para avaliação ambiental foi utilizada a planilha do GHG Protocol Brasil. O **APÊNDICE E - Extrato de Planilhas do GHG Protocol Brasil, tela de entrada (Quadro 15)** traz um extrato desta planilha com a tela de entrada e a tela de resumo das emissões para os escopos 1, 2 e 3.

4.4 Dados Resultantes da Aplicação do Protocolo Proposto

Com a parametrização descrita anteriormente, o protocolo foi aplicado às propostas de PPP para a iluminação pública de São Paulo. Devido à grande quantidade de tabelas e dados numéricos gerados, optou-se por apresentar os resultados no **APÊNDICE H – Resultados da aplicação do protocolo**, de modo a facilitar a leitura do trabalho.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após o preenchimento das planilhas, os resultados foram sintetizados nas tabelas a seguir.

5.1 Comparação de Desempenhos Econômicos

Os aspectos econômicos obtidos podem ser resumidos na **Tabela 8** a seguir.

Tabela 8 – Aspectos econômicos associados aos empreendimentos propostos.

#	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback simples (anos)	Payback descontado (anos)
P1	2,016,51	949.829.882,91	0	0
P2	18,40	437.251.932,53	7	9
P3	25,70	515.823.989,43	5	6
P4	61,00	532.354.251,70	1	2
P5	40,59	677.955.171,09	4	4
P6	16,25	256.719.524,50	8	11
P7	10,83	38.366.316,33	9	17
P8	17,40	399.709.907,66	5	8

Fonte: Elaborado pelo autor.

A proposta P1 é a linha de base, ou seja, a situação atual.

Pelos dados da **Tabela 8**, a melhor taxa de retorno, o melhor VPL e o melhor PB é o P1. Para este caso é preciso lembrar que o P1 não incorpora um conjunto de melhorias demandadas pelo edital da PPP, ainda que atenda a requisitos mínimos de normas técnicas, segundo o texto da proposta. A TIR da P1 reflete o baixo nível de investimento que o gestor público pretende realizar na hipótese da não-realização da PPP. As funcionalidades que a prefeitura espera agregar para a gestão da iluminação pública explícitas no edital da PPP certamente oneraram as demais propostas. Considerando as propostas que surgiram da consulta pública, sob o aspecto econômico destacam-se a P4 (pela TIR e pelo Payback simples e descontado) e a P5 (pelo VPL).

Importante notar que uma análise possível da planilha desenvolvida é calcular o fluxo de caixa sem as entradas e saídas ambientais valorizadas.

O desempenho econômico sem estes fluxos está representado na **Tabela 9**.

Tabela 9 – Aspectos econômicos associados aos empreendimentos propostos, sem a valoração das entradas e saídas ambientais.

#	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback simples (anos)	Payback descontado (anos)
P1	674,72	340.567.470,41	0	0
P2	18,12	425.476.759,80	7	9
P3	25,19	504.167.148,56	6	7
P4	58,99	523.287.169,68	1	2
P5	39,79	668.422.609,64	4	4
P6	15,94	246.531.744,31	8	11
P7	10,6	27.659.051,92	9	18
P8	17,17	388.922.210,52	6	8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando-se os dados da tabela, percebe-se que a P4 destaca-se pela TIR e pelo Payback e a P5 destaca-se pelo VPL (incluindo a comparação com a linha de base), com diferenças relativas muito pequenas em relação à situação anterior. Isto indica que em relação aos demais fluxos, os aspectos ambientais valorados não mudam significativamente a análise econômica.

5.2 Comparação de Desempenhos Ambientais

Os aspectos ambientais obtidos podem ser resumidos na **Tabela 10** a seguir.

Tabela 10 – Aspectos ambientais das propostas pelo GHG Protocol.

#	Emissões do Escopo 1 (t CO ₂ equiv.)	Emissões Escopo 2 (t CO ₂ equiv.)	Emissões Escopo 3 (t CO ₂ equiv.)	Emissões Totais (t CO ₂ equiv.)
P1	682,00	71.623,90	19,00	72.324,90
P2	14.153,00	40.801,30	6.744,00	61.698,30
P3	14.912,00	42.987,80	6.744,00	64.643,80
P4	13.026,00	40.801,30	6.744,00	60.571,30
P5	14.327,00	58.461,50	6.744,00	79.532,50
P6	11.681,00	33.672,90	6.744,00	52.097,90
P7	14.153,00	41.189,90	6.744,00	62.086,90
P8	14.153,00	41.578,50	6.744,00	62.475,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelos dados da **Tabela 10**, as maiores emissões Totais se dá com a P1 (linha de base), certamente pelo consumo de energia (escopo 2), grande motivação para a troca tecnológica e modernização das instalações. Da mesma forma a P1 não demandará emissões significativas devido à fabricação de novos equipamentos (escopo 1) e não demandará tratamento de resíduos (escopo) devido à sua baixa geração. Ambos são resultados do fato de que na P1 não haveria troca significativa de tecnologia (gerir o que já existe, com as limitações operacionais atuais).

Dentre as demais propostas, destaca-se a P6 (para escopos 1 e 2) e a P6 também para emissões totais. Para o escopo 3, todas as propostas tiveram suas emissões igualadas devido ao fato de que todas elas se propõem a substituir todos os atuais equipamentos, gerando igualmente resíduos vindos desta atividade.

5.3 Análise da Ecoeficiência das Propostas de PPP

Os dados da análise econômica e os dados da análise ambiental foram correlacionados e normalizados para observá-los graficamente. O principal resultado está no gráfico da **Figura 23**.

Figura 23 – Avaliação comparativa da ecoeficiência das propostas de PPP (sem externalidades).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar que a P1 (linha de base) tem um dos piores desempenhos ambientais (superada apenas por P5), mas tem um o melhor desempenho econômico. Observa-se também que há uma região central onde estão metade das propostas, com desempenhos muito próximos (P2, P3, P4 e P8) e, finalmente que a P6 apresenta o melhor desempenho ambiental, mas é a pior em termos econômicos.

Para analisar e comparar o desempenho de cada proposta de solução foi utilizado um recurso simples para uma comparação inicial. Traçou-se uma bissetriz para estabelecer um referencial de análise para os dois eixos. Um deslocamento para a esquerda (menores impactos) e para

cima (maior retorno financeiro) indica os movimentos desejados. O contrário deveria ser evitado.

Outras técnicas mais sofisticadas podem ser implementadas para esta análise, pois as funções de distância podem apresentar comportamentos interessantes, possibilitando maior exatidão na classificação. Tais técnicas utilizam a determinação da Distância de Manhattan, Distância Euclidiana, Distância Log-euclidiana, Distância de Canberra, Divergência de Jeffrey, Distância de Chebychev, dentre outras.

O gráfico a seguir, **Figura 24**, traz uma bissetriz sobreposta sobre o gráfico anterior e a região de concentração dos “desempenhos” ecoeficientes médios. Se imaginarmos um ponto flutuante sobre a bissetriz, poderemos verificar quais seriam os pontos mais bem posicionados no que diz respeito a maximização do desempenho econômico com a minimização dos impactos ambientais (emissões). Sob este aspecto, uma solução de interesse seria a P4.

Figura 24 – Avaliação comparativa da ecoeficiência das propostas de PPP, com segregação de regiões. (com externalidades).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os três cenários de interesse para suporte à decisão também foram testados com o protocolo desenvolvido, a partir de Wright e Johnson (1984). A seguir apresenta-se uma análise destes resultados.

5.3.1 Cenário 1: Ecodesenvolvimento

Neste cenário, caracteriza-se uma sociedade que busca o desenvolvimento sustentável, seja do ponto de vista ambiental, seja do ponto de vista econômico. Neste cenário considera-se que haverá iniciativas, programas governamentais e mudança de comportamentos no que diz respeito a hábitos de consumo e produção, com o surgimento de novos valores que permitiriam a autossuficiência e o desenvolvimento baseado em recursos e soluções próprias em nível regional e nacional, com grande valorização da ecoeficiência de serviços e produtos.

Os parâmetros identificados que corroboram o cenário 1, com sua respectiva alteração e justificativas estão na **Quadro 10** a seguir.

#	Descrição do parâmetro	Alteração sugerida para testar sensibilidade
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	mais 10% representando melhorias no esforço de mudança da matriz
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	menos 10% representando o esforço para gestão com menor uso de combustíveis e materiais
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	menos 10% representando o esforço para gestão com menor uso de combustíveis e materiais
14	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	menos 50% (luminárias com vida útil maior)
19	Preço médio de uma luminária (R\$)	mais 10% representando custo adicional para luminárias com vida útil maior
20	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	mais 50% representando uma revalorização de materiais recicláveis
21	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	mais 20% de melhoria no uso de materiais recicláveis na engenharia de produto
23	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	mais 100% na valorização e implementação do MDL
24	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	menos 10% representando a melhoria da matriz energética
28	Peso médio por W consumido (kg)	menos 20% de melhoria no peso total na engenharia de produto

Quadro 10 – Alteração de parâmetros para cenário 1.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado está apresentado no gráfico **da Figura 25** a seguir.

Figura 25 – Ecoeficiência para o cenário 1.

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Figura 25 acima e sua comparação com a Figura 24 sem alteração dos parâmetros, observa-se que todas as propostas tendem a melhorar seu desempenho econômico, o que é um indicativo da validade desta opção como indutor de uma política pública para o ecodesenvolvimento.

5.3.2 Cenário 2: Deterioração Econômica

Neste cenário caracteriza-se uma sociedade em que predomina a visão do desenvolvimento como consequência estrita da saúde econômica. Neste cenário, considerando uma crise econômica, haveria deterioração do padrão de vida da população brasileira, regreção da integração internacional da economia, baixa eficiência da indústria nacional e ampliação de custos para serviços públicos.

Os parâmetros identificados que corroboram o cenário 2, com sua respectiva alteração e justificativas estão na **Quadro 11** a seguir.

#	Descrição do parâmetro	Alteração sugerida para testar sensibilidade
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	mais 100% representando um aumento no custo da energia
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	mais 10% representando aumento do custo com pessoal (dissídios, greves, etc.)
19	Preço médio de uma luminária (R\$)	mais 10% representando o aumento do custos de importação de equipamentos, materiais e componentes
26	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	mais 100% representando o dobro da inflação no período
27	Correção anual para energia elétrica (%)	mais 100% representando no índice que corrige o custo de energia

Quadro 11 – Alteração de parâmetros para cenário 2.

Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado está apresentado no gráfico da **Figura 26** a seguir.

Figura 26 – Ecoeficiência para o cenário 2.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela Figura 26 acima, observa-se que o protocolo e a ferramenta desenvolvida é supersensível a este cenário, permitindo observar que apenas as propostas P5, P7 e P8 teriam um desempenho ecoeficiente, com destaque para a P8 que mesmo num ambiente economicamente hostil, consegue maximizar o desempenho econômico e mitigar impactos ambientais.

5.3.3 Cenário 3: Modernização a Serviço do Usuário

Nesse cenário o desenvolvimento da sociedade ocorreria com amplo uso da informação e do conhecimento para gerar soluções criativas, novas e eficientes para os problemas do desenvolvimento, da segurança e do bem estar da população, que por sua vez valorizaria esta opção. Neste cenário, a teleinformática teria um papel central no armazenamento, tratamento e disseminação de conhecimento para o aprimoramento de serviços públicos e de produtos que atendam mais diretamente a necessidade do usuário.

Os parâmetros identificados que corroboram o cenário 3, com sua respectiva alteração e justificativas estão na **Quadro 12** a seguir.

#	Descrição do parâmetro	Alteração sugerida para testar sensibilidade
1	Quantidade de luminárias (#)	mais 10% para uma melhor concepção de projetos (com distribuição mais uniforme da luz)
2	Tempo médio diário ligada (h)	menos 10% para dimerização e sensoramento de presença
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	mais 30% de recursos destinados a melhorar a interface com o usuário (sensoramento e rotinas de inspeção)
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	mais 10% destinados a treinar e melhorar qualificação dos profissionais para prestar melhores serviços
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	mais 30% para mapear recursos de atendimento ao cidadão e melhorar especificações e projetos de iluminação
19	Preço médio de uma luminária (R\$)	mais 30% de aumento do custo de luminárias para atender exigências de qualidade de TCC e IRC

Quadro 12 – Alteração de parâmetros para cenário 3.

Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado está apresentado no gráfico da **Figura 27** a seguir.

Figura 27 – Ecoeficiência para o cenário 3.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela Figura 27 acima, observa-se que o protocolo e a ferramenta desenvolvida é sensível a este cenário também, permitindo observar que apenas as propostas P4 e P3 teriam um desempenho ecoeficiente interessante. A P3 não havia aparecido como de interesse em nenhum outro cenário, indicando que a concepção da proposta tem forte compromisso com a qualidade ao usuário. A P4 aparentemente só não está estruturada para um cenário de deterioração econômica mas se sai muito bem tanto no cenário “Ecodesenvolvimento” quanto no cenário “Modernização a serviço do usuário”, indicando ser um ótimo candidato para ambos.

Pelos resultados obtidas da aplicação de cenários, observa-se que é possível definir a sustentabilidade urbana e a partir da escolha de indicadores apropriados, com base no interesse ou visão do gestor, confirmando a visão de Keirstead e Leach (2008). Além disso, observou-se que se pode eleger indicadores e parametrizações sensíveis à intenção de uso cuidadoso de recursos não renováveis e satisfação completa das necessidades humanas básicas (LUDWIG, 1997; HOLDEN; LINNERUD, 2007; KALLIO; NORDBERG; AHONEN, 2007).

5.4 Subsídios para Decisões do Gestor do Serviço

A utilização de cenários neste trabalho tem unicamente o objetivo de validar o roteiro de análise demonstrando sua aplicabilidade. Não tem o objetivo de esgotar as possibilidades de análise utilizando o roteiro para seu eventual uso pela gestão da Iluminação Pública da cidade de São Paulo ou qualquer outra cidade.

Como ficou demonstrado pela análise dos gráficos de ecoeficiência baseados nos desempenho econômico e ambiental, o protocolo proposto na forma de um roteiro, com utilização das ferramentas disponíveis, é viável para gerar informações para o tomador de decisões e tem a sensibilidade necessária para seu emprego como suporte à decisão. Há que se considerar que esta abordagem da ecoeficiência não encerra todas as questões necessárias de serem avaliadas pelo tomador de decisão, mas é com certeza um apoio mais robusto às políticas públicas na área, ou pelo menos, como uma possibilidade adicional para ranquear propostas de soluções para o caso.

Com a utilização do roteiro proposto e com um refinamento dos cenários, recomenda-se que os gestores de infraestrutura de iluminação explorem os resultados utilizando outras técnicas complementares de tomada de decisão como, por exemplo, a Análise de Decisão Multicritério ou Delphi. Neste caso, os parâmetros poderiam ser redefinidos em função de situações particulares nos municípios e as propostas poderiam ser ranqueadas e priorizadas por diferentes critérios, ou subdivididas em grupos de desempenho qualitativo nas dimensões analisadas (por exemplo: péssima, pobre, média, aceitável e boa) e avaliadas por um painel de especialistas com bases nos dados gerados.

No caso estudado (propostas de PPP para a IP de SP), observa-se que há “funções” do empreendimento consideradas fundamentais pelo gestor. São as seguintes:

- Iluminação Pública;
- Cadastro de itens;
- Telegestão;
- Centralização do Controle Operacional (CCO);
- Conectividade.

Portanto, a ecoeficiência de cada proposta deve ser analisada à luz de outra avaliação que traduza o quão efetivo as propostas são no atendimento a estas necessidades já expressas. Neste caso, é necessário identificar a métrica mais efetiva para a avaliação destas funções que não estão representadas estritamente na função “Iluminação Pública”.

Finalmente, é possível comparar os resultados obtidos com as soluções apresentadas por Campbell (1996) e depois por Rotmans, Van Asselta e Vellinga (2000), seguindo-se a de Ravetz (2000). O presente trabalho obteve um modelo relativamente mais simples para comparar projetos e tomar decisões com base num conceito simplificado de ecoeficiência. Na prática, confirmou-se a visão de Walton, El-Haram e Castillo (2005) pela qual a abordagem precisa estar associada a uma estrutura de planejamento estratégico, combinando análise de cenários e ferramentas de avaliação multiatributos e depende muito da capacidade do gestor em aplicar os conceitos e do objetivo da análise realizada. Também, conforme observado mais recentemente por Keirstead (2013), os resultados mostram que cada método tem seus próprios pontos fortes e fracos em relação à facilidade de interpretação, capacidade de identificar casos anômalos e fornecer ranqueamentos consistentes. Porém, mais importante que isso é o fato de que os resultados estejam fortemente vinculados a uma avaliação das políticas públicas adotadas no âmbito dos governos.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho buscou trazer respostas a desafios atuais enfrentados no contexto da sustentabilidade urbana e, mais especificamente, da Iluminação Pública. Saber como avaliar e distinguir o desempenho ambiental e econômico de diferentes propostas de projetos de iluminação pública a partir do conceito de ecoeficiência mostrou-se uma questão de pesquisa relevante para nortear o esforço de pesquisa.

Os resultados demonstram que as propostas de realização de um empreendimento de Iluminação Pública podem ser analisadas comparativamente pelo conceito de ecoeficiência. Com a utilização de um roteiro relativamente simples e ferramentas apropriadas, identificou-se uma forma de realizar esta avaliação. A utilização de um único indicador para o desempenho econômico (VPL) e um único indicador para o desempenho ambiental (emissões de CO₂ equivalentes), com uma análise da correlação entre ambos, mostrou-se efetiva como medida da ecoeficiência de propostas de empreendimentos de Iluminação Pública.

O modelo analítico desenvolvido e expresso no presente documento pode auxiliar na solução de desafios enfrentados por outros empreendimentos da área. Com isso, eventuais tomadas de decisão que visem promover a ecoeficiência na gestão de recursos, com obtenção de mínimos impactos ambientais e com o máximo aproveitamento econômico, podem usufruir do resultado desta pesquisa. Nisso reside uma das principais contribuições do estudo: auxiliar no embasamento, de forma transparente e objetiva, das decisões sobre os empreendimentos de Iluminação Pública.

Os resultados do trabalho corroboram que a visão da ecoeficiência na gestão de serviços públicos não apresenta, necessariamente, apenas vantagens econômicas, mas pode levar a efeito a responsabilidade do gestor perante o cidadão. Vale lembrar que segundo a Abilux, esta cadeia produtiva é responsável por cerca de 40.000 empregos diretos.

Em que pese o resultado final favorável aos objetivos iniciais, observaram-se algumas limitações durante a realização da pesquisa que merecem ser citadas. .

Responder ao problema apresentado mostrou-se uma tarefa bastante ampla e complexa inicialmente, pois propostas de empreendimentos de iluminação pública partem de diferentes concepções não somente com relação às tecnologias envolvidas, mas principalmente no modo de operá-las e mantê-las para oferecer um serviço de qualidade. Inclusive, o próprio conceito de qualidade foi objeto de interpretações distintas em vários projetos. Para estabelecer um protocolo que permitisse avaliar estas concepções foi necessário aprofundar o conhecimento das estratégias presentes em cada proposta e como elas foram resolvidas no âmbito do uso das tecnologias disponíveis. Esta dificuldade obrigou a algumas simplificações para obter uma comparação sobre bases iguais, de modo a não subvalorizar ou supervalorizar nenhuma delas. Por exemplo, um mesmo tempo de duração da PPP, uma mesma previsão para custeio da energia, um mesmo método para cálculo do fluxo de caixa, dentre outros.

Frente aos objetivos específicos que nortearam este trabalho, este pareceu ser um modo viável de encaminhamento do problema. No entanto, foi necessário identificar parâmetros que permitissem ao mesmo tempo colocar a comparação sobre bases iguais (dada a variedade no escopo, profundidade e extensão de cada proposta analisada na validação), assim como simular condições de variação de cenários igualmente para todos os testes de medição de ecoeficiência (eficiência dos equipamentos, custo dos materiais e produtos, diversas taxas de referência, emissões por tecnologia empregada, etc.).

Em relação aos dados utilizados para a validação do roteiro e aplicabilidade das ferramentas, observou-se que, pelo fato do Chamamento Público da PMSP não ter estabelecido muitas métricas e restrições estruturais, as propostas submetidas têm diferentes níveis de profundidades e extensões. Fica claro que a PMSP, intencionalmente, não quis fazer tais restrições para justamente avaliar a amplitude e heterogeneidade de soluções que o mercado pode gerar para o pleito. Porém, do ponto de vista metodológico da presente pesquisa, este fato gerou grandes dificuldades para tratar e comparar os dados econômicos e tecnológicos consignados nas propostas. O outro lado desta questão é que todos os proponentes tiveram liberdade para utilizar diferentes conceitos e soluções implementação de tecnologias vigentes. Isto permitiu uma certa independência e riqueza que, provavelmente, representa o estado da técnica para empreendimentos do gênero, inclusive a nível mundial, uma vez que os consórcios formados contém grandes agentes econômicos que operam internacionalmente.

Em relação às ferramentas desenvolvidas (planilha de parâmetros, inventário, fluxo de caixa e avaliação econômica), ressalta-se que podem ser aprimoradas com maior cuidado na alocação dos custos e receitas vindos da valoração de aspectos ambientais. Tal dimensão, ainda que não tenha oferecido grande influência na análise, pode ser melhor estudada com o objetivo de refinar a análise e subsidiar os especificadores e projetistas deste tipo de infraestrutura. Isto demandaria um aprofundamento no entendimento das externalidades associadas ao custo do ciclo de vida do empreendimento, o que não foi um objetivo desta pesquisa.

A ferramenta proposta pelo GHG Protocol Brasil para inventário de emissões, utilizada no presente trabalho tem vários méritos. É fácil de usar; é bem referenciada em relação aos dados de emissões inventariados; é reconhecida pelo mercado de créditos de carbono e pela BM&FBOVESPA e está disponível para uso público sem ônus financeiro para o usuário. No entanto, para inventariar projetos de períodos longos (como uma PPP de 20 anos de duração), há que se desenvolver meios para torná-la aplicável sem simplificações que diminuam seu potencial e a valorizem com uma ferramenta de decisão prospectiva.

Entende-se, também, que o trabalho pode ser aprimorado com um refinamento da técnica, principalmente no que diz respeito à valoração dos aspectos ambientais na parte da avaliação econômica e definição do fluxo de caixa.

Recomenda-se, para estudos futuros, que o corpo teórico que se vem acumulando no estudo da ecoeficiência incorpore, no caso de sua aplicação para serviços públicos, uma atenção especial com os parâmetros a serem estabelecidos que sejam próprios da realidade do setor e do ciclo de vida dos serviços e produtos envolvidos. Há que se desenvolver também uma análise da qualidade do serviço a ser oferecido, uma vez que isto pode impactar a definição da Unidade Funcional tanto para as ACVs quanto para as ACCVs. Estes parâmetros podem não estar relacionados diretamente com a área do gestor do serviço, mas poderá balizar suas decisões, uma vez que o efeito de suas ações poderá ser percebido em outras áreas do serviço público. Por exemplo, uma iluminação pública de qualidade poderá levar à valorização do patrimônio histórico, a um menor número de acidentes e a um menor número de ilícitos nas vias públicas, rendendo menos gastos com saúde e segurança públicas. Quanto isso poderia valer? Quanto deste zelo pela iluminação pública poderia ser absorvido por outros setores da gestão pública?

É importante que as ferramentas desenvolvidas sejam divulgadas e disponibilizadas para uso gratuito na internet, tal como ocorre hoje com a ferramenta de GHG Protocol. Um “guia de referência poderia ser elaborado com o objetivo de facilitar suas aplicações, tanto para desenvolvedores de projetos como para gestores de serviços de Iluminação Pública.

Entende-se que esta seria uma grande contribuição para a sociedade neste momento crítico onde as cerca de 5.570 prefeituras brasileiras estão tomando decisões vinculadas a empreendimentos de vinte anos ou mais, com grande efeito sobre a sociedade.

Por fim, conclui-se que, com todas as dificuldades e incompletudes que o trabalho possa apresentar para sua reprodução e disseminação para outros setores, é um passo efetivo no sentido de ajudar a preencher a lacuna de ferramentas analíticas para a promoção da ecoeficiência de produtos e serviços, valor fundamental na busca de uma sociedade mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABDOU, O.A. Effects of luminous environment on worker productivity in building spaces. **Journal of Architectural Engineering**, v.3, n.3, p.124-132, Sept. 1997.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010**. Brasília: ANEEL, 2010.
- AHMED, Y.J.; EL SERAFY, S.; LUTZ, E. (Eds.). **Environmental accounting for sustainable income**. Washington D.C.: The World Bank, 1989. 100p.
- ALLIONE, C.; TAMBORRINI, P.; ELIA, M. Eco-efficiency into the lighting design: From an environmental quantitative analysis of the available light bulbs to qualitative guidelines for designing innovative and sustainable lighting system. **Design Principles and Practices**, v.6, n.5, p.509-525, 2011.
- AMAN, M.M. et al. Analysis of the performance of domestic lighting lamps. **Energy Policy**, v.52, p. 482-500, Jan. 2013.
- APISITPUVAKUL, W. et al. LCA of spent fluorescent lamps in Thailand at various rates of recycling. **Journal of Cleaner Production**, v.16, n.10, p.1046-1061, 2008.
- ASARI, M.; FUKUI, K., S.; AKAI, S.I. Life-cycle flow of mercury and recycling scenario of fluorescent lamps in Japan. **Science of the Total Environment**, v.393, n.1, p. 1-10, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA ILUMINAÇÃO. **Levantamento do estágio tecnológico do setor de iluminação**. São Paulo: Abilux, 2005. Disponível em: <<http://www.abilux.com.br/pdf/diagnostico.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101: Iluminação pública — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5461: Iluminação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASTLEITHNER, F. et al. Institutions and indicators – the discourse about indicators in the context of sustainability. **Journal of Housing and the Built Environment**, v.19, n.1, p.7–24, 2004.
- ATKISSON A. Developing indicators of sustainable community: lessons from Sustainable Seattle. **Environmental Impact Assessment Review**, v.16, p.337–350, 1996.
- BARANDIER, H. et al. **Guia Técnico Procel Edifica: planejamento e controle ambiental-urbano e a eficiência energética**. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA/ ELETROBRAS/PROCEL, 2013. 222p.
- BARATA, M.M.L.; KLIGERMAN, D.C.; MINAYO-GOMEZ, C. A gestão ambiental no setor público: uma questão de relevância social e econômica, defendendo a ecoeficiência. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.12, n.1, p.165-170, 2007.

BAUMOL, W.J.; OATES, W.E. **The theory of environmental policy**. 2.ed. Cambridge University Press, Cambridge. 1988. 299p.

BECCALI, M. et al. Life cycle assessment of Italian citrus-based products. Sensitivity analysis and improvement scenarios. **Journal of Environmental Management**, v.91, n.7, p.1415-1428, 2010.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro. FGV, 2005.

BENETTO, E. et al. Life cycle assessment of coal by-products based electric power production scenarios. **Fuel**, v.83, n.7-8, p.957-970, May, 2004a.

BENETTO, E. et al. Life cycle assessment of fossil CO sub(2) emissions reduction scenarios in coal-biomass based electricity production. **Energy Conversion & Management**, v.45, n.18-19, p.3053-3074, Nov. 2004b.

BERGOGLIO, J.M. **Carta Encíclica Laudato Si' – O Cuidado da Casa Comum, Vaticano**. Vaticano: Libreria Editrice Vaticana, 2015. Disponível em: <http://w2.vatican.va/content/francesco/pt/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html>. Acesso em: 21 out. 2015.

BERRE, D. et al. Finding the right compromise between productivity and environmental efficiency on high input tropical dairy farms: A case study. **Journal of Environmental Management**, v.146, p.235-244, 2014.

BITHAS, K.P.; CHRISTOFAKIS, M. Environmentally sustainable cities. Critical review and operational conditions. **Sustainable Development**, v.14, n.3, p.177–189, 2006.

BOUBEKRI, M. Life cycle cost analysis of building re-lamping alternatives. **Journal of Renewable Sustainable Energy**, v.4, p.1-13, 2012.

BP. **BP Sustainability Report 2005**. [S.l]: BP, 2006. Disponível em: <<http://www.bp.com/downloadlisting.do?categoryId=9010741&contentId=7022970>>. Acesso em: 8 nov. 2006.

BRASIL Ministério do Meio Ambiente. **Carta da terra**. Brasília: MME, 2015c. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/carta-da-terra>>. Acesso em: 21 out. 2015.

BRASIL Ministério do Meio Ambiente. **Instrumentos Econômicos**. Brasília: MME, 2015b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/economia-verde/instrumentos-econ%C3%B4micos>>. Acesso em: 21 out. 2015.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (atualizada até a EC nº 90, de 15 set. 2015). **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 set. 2015d. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>. Acesso em: 11 dez. 2015.

BRASIL. **Instrução normativa nº 01, de 19 de janeiro de 2010**. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências.

Disponível em

<<http://www.comprasnet.gov.br/legislacao/legislacaoDetalhe.asp?ctdCod=295>> Acesso em: 10 dez. 2015.

BRASIL. Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. **Diário Oficial da União**, Brasília, 31 dez. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/111079.htm>. Acesso em: 11 dez. 2015.

BRASIL. Países devem ter metas ambiciosas para que mundo avance na COP-21. **Blog do Planalto – Presidência da República**, Brasília, 2015a. Disponível em: <<http://blog.planalto.gov.br/assunto/cop-21/>>. Acesso em: 21 out. 2015.

BRIDGES, J.; CURRAN, M. Metrics: Essential for environmental decision-making and sustainability. **100th Annual Conference and Exhibition of the Air and Waste Management Association**, v.3, p. 1565-1574, 2007.

CALLENDAR, G. S. The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. **Quarterly Journal Royal Meteorology**, v.64, p.223, 1938.

CAMAGNI, R.; CAPELLO, R.; NIJKAMP, P. Towards sustainable city policy: an economy–environment technology nexus. **Ecological Economics**, v.24, n.1, p.103–118, 1998.

CAMPBELL, S. Green cities, growing cities, just cities? - urban planning and the contradictions of sustainable development. **Journal of the American Planning Association**, v.62, n.3, p.296-312, Summer 1996.

CASAMAYOR, J.; SU, D.; SARSHAR, M. Extending the lifespan of LED-lighting products, **Architectural Engineering and Design Management**, v.11, n.2, p.105-122, 2015.

CASAMAYOR, J.L.; SU, D. Environmental impact assessment of lighting products. **Key Engineering Materials**, v.486, p.171-174, 2011.

CASAROTTO FILHO, N., KOPITTKE, B.H. **Análise de investimentos**. São Paulo: Editora Atlas, 1994.

CECHIN, A. **A natureza como limite da economia**: a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen. São Paulo: Senac / Edusp, 2010. 264p.

CHAKRABARTY, S.; ISLAM, T. Financial viability and eco-efficiency of the solar home systems (SHS) in Bangladesh. **Energy**, v.8, n.36, p.4821-4827, 2011.

CHAN, H.K. **Life cycle assessment of LED road lighting**. 2012. 64 f. Dissertation (Master in Environment Management) - University of Hong Kong, Hong Kong, 2012.

CHEHEBE, J.R. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark / CNI, 1997.

CHEN, J.; PAN, Y.; RENISON, A. **An investigation into light bulb sustainability**. Columbia: Ecological Economic Development Studies (SEEDS) / University of British Columbia, 2009. 21p. (Student Reports).

CIRAIG. **Comparative life cycle assessment of light bulbs: incandescents and compact fluorescents**. Quebec: Interuniversity Research Centre for the Life Cycle of Products, 2008. 84p. (Report for Hydro-Québec Distribution).

CIROTH, A. Cost data quality considerations for eco-efficiency measures. **Ecological Economics**, v.68, n.6, p.1583-1590, Apr. 2009.

CITIES DEVELOPMENT INITIATIVE FOR ASIA. **Strategy and Business Plan 2013–2017**. [S.l.]: CDIA, 24 October 2012.

CITY OF CAPE TOWN. **State of the Environment Report**. 2002. Disponível em: <<http://www.capetown.gov.za/soe/>>. Acesso em: 6 nov. 2006.

CITY OF MELBOURNE. **Environmental Indicators**. 2005. Disponível em: <<http://www.melbourne.vic.gov.au/info.cfm?top=91&pg=864>> Acesso em: 8 fev. 2007.

CLIMATE AND CLEAN AIR COALITION. **Guidance note on short-lived climate pollutants for intended nationally determined contributions**. [S.l.]: CCAC, 2015.

CLUZEL, F. et al. Exploitation scenarios in industrial system LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.19, n.1, p.231-245, 2014.

COLON, C. **Assessing the economic and environmental impacts associated with current street lighting technologies**. 2010. Thesis (Master) - Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson, 2010.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Diretivas contabilísticas da EU**. 2001. Disponível em: <http://www.cnc.min-financas.pt/pdf/Directivas_UA/Recomendacao_2001_453_CE_pt_matAmb.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **CIE 145:2002**: the correlation of models for vision and visual performance. Viena CIE, 2002. Disponível em: <http://div1.cie.co.at/?i_ca_id=551&pubid=43>. Acesso em: 8 out. 2014.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **CIE 191:2010**: Recommended system for mesopic photometry based on visual performance. Viena: CIE, 2010. Disponível em: <http://www.cie.co.at/index.php?i_ca_id=788>. Acesso em: 8 out. 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: uma visão institucional: sumário executivo**. Brasília: CNI, 2010. 58p.

CONSTANZA, R. et al. **An introduction to ecological economics**. Boca Raton: CRC Press, 2015.

CONSTANZA, R. et al. **An introduction to ecological economics**. Florida: St. Lucie Press, 1997. 275p.

COP21. **Conferência das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas, 21st Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change**

(COP21/CMP11), de 30 nov. a 11 dez. 2015 em Paris. Disponível em:
<<http://www.cop21.gouv.fr/en/why-2c/>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

COSTANZA, R.; DALY, H. **Natural capital and sustainable development**. Ottawa: Canadian Environmental Assessment Research Council, 1990. (Paper prepared for the CEARC Workshop on Natural Capital, Vancouver, BC, 15-16 March 1990).

CREE INC. **Energy-efficient lighting lifecycle**. [S.l.]: Cree, 2009. (White Paper, 8)

CROPPER, M.L.; OATES, W.E. Environmental economics: a survey. **Journal of Economic Literature**, v.30, p.675–740, 1992.

CUCCHIETTI, F., GRIFFA, G., RADICE, L. Eco-efficiency indicator: An Operator's energy performance indicators. In: INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE, 2007. **Proceedings...** [S.l.]: INTELEC, 2007.

DA GUABIROBA, R. et al. Eco-efficiency as an auxiliary measure for the definition of interregional public consortia responsible for the collection of recyclable domestic waste. **Journal of Cleaner Production**, v.68, p.36-45, 2014.

DALE, A.T. et al. Preliminary comparative life-cycle impacts of streetlight technology. **Journal of Infrastructure Systems**, v.17, n.4, p. 193-199, 2012.

DALY, H. **Sustainable development: from concept and theory towards operational principles**. [S.l.]: Hoover Institution, 1989. (Presented to Hoover Institution Conference - Manuscript prepared for special issue of Population and Development Review).

DELAI, I.; TAKAHASHI, S. Corporate sustainability in emerging markets: insights from the practices reported by the Brazilian retailers. **Journal of Cleaner Production**, v.47, p.211-221, 2013.

DODMAN, D. Blaming cities for climate change? An Analysis of GHG Emissions Inventories. **Environment and Urbanization**, v.21, n.1, p.185-201, 2009.

DONATIELLO, G. **Environmental sustainability indicators in urban areas: an Italian Experience**. [S.l.]: Unece, 2001. Disponível em:
<<http://www.unece.org/stats/documents/2001/10/env/wp.16.e.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2006.

DTI. **UK Energy Sector Indicators**. [S.l.]: DTI, 2006. Disponível em:
<<http://www.dti.gov.uk/energy/statistics/publications/indicators/page29741.html>>. Acesso em: 7 nov. 2006.

DUBBERLEY, M.; AGOGINO, A.M.; HORVATH, A. Life-cycle assessment of an intelligent lighting system using a distributed wireless mote network. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 2004. **Proceedings...** New York: IEEE, 2004. p.122-127.

DURLINGER, B.; REINDERS, A.; TOXOPEUS, M. Environmental benefits of PV powered lighting products for rural areas in south east Asia: a life cycle analysis with geographic allocation. In: IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, 35., 2010, Hawaii. **Proceedings...** New York: IEEE, 2010.

EARTH CHAPTER INTERNATIONAL, **What Is the Earth Charter?**. Disponível em <<http://www.earthcharterinaction.org/content/>>. Acesso em: 21 out. 2015.

EARTH COUNCIL. **The Earth Charter**. San José, Costa Rica: Earth Council, 2000. Disponível em: <<http://www.earthcharterinaction.org>>. Acesso em: 21 out. 2015.

ECKELMAN, M.J. Hybrid life cycle energy assessment of commercial LED lamps. IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE SYSTEMS AND TECHNOLOGY, 9., 2009, Tempe, EUA. **Proceedings...** New York: IEEE, 2009.

EHRENFELD, J. R. Eco-efficiency: Philosophy, theory and tools. **Journal of Industrial Ecology**, v.9, n.4, p.6-8, 2005.

ELOHOLMA, M. et al. Mesopic models*/from brightness matching to of different SPD. Part 1 - Visual Performance. **Lighting Research Technology**, v.39, n.3, p. 215–232, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica Ano base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013a.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2008: Ano base 2007**. Rio de Janeiro: EPE, 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: 04 set. 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia – PNE 2050**: Termo de Referência. Rio de Janeiro: EPE, 2013b. (Nota Técnica DEA 05/13).

ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **An introduction to environmental accounting as a business management tool**: key concepts and terms. Washington: EPA, 1995.

EWEL, K.C. Water quality improvement by Wetlands. In: DAILY, G.C. (Ed). **Natures services**: societal dependence on natural ecosystems. Washington DC: Island Press. 1997. p.329-344.

FLORY IV, I. L. **High-intensity discharge industrial lighting design strategies for the – minimization of energy usage and life-cycle cost**. Dissertation (Doctor of Philosophy in Electrical Engineering) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2008.

FOSTERVOLD, K.I.; NERSVEEN, J. Proportions of direct and indirect indoor lighting – the effect on health, well-being and cognitive performance of office workers. **Lighting Research Technology**, v.40, p.175–200, 2008.

FOTIOS, S.; CHEAL, C. Lighting for subsidiary streets: investigation of lamps visual performance in night-time driving: a review. **Lighting Research Technology**, v.37, n.2, p. 155-175, 2005.

FRANCESCHINI, S.; PANSERA, M. Beyond unsustainable eco-innovation: the role of narratives in the evolution of the lighting sector. **Technological Forecasting and Social Change**, v.92, p.69-83, 2015.

FRANCESCHINI, S.; PANSERA, M. Efficiency vs. conservation? competing framings and the future of the lighting industry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 13., 2013, Lekkas. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2013.

FRANDOLOSO, M.A.L.; BRANDLI, L.L.; DIAS, F.P. How to improve eco-efficiency and indoor comfort at University of Passo Fundo – Brazil. In: INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE ON SUSTAINABLE ARCHITECTURE + URBAN DESIGN: OPPORTUNITIES, LIMITS AND NEEDS - TOWARDS AN ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ARCHITECTURE, 28., 2012. **Proceedings...** [S.l.]: PLEA, 2012.

GARRETT, P.; COLLINS, M. **Life cycle assessment of product stewardship options for mercury-containing lamps in New Zealand: final report.** [S.l.]: Environmental Resources Management (ERM) for the Ministry for the Environment, 2009. 171p.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy and economic myths. **Southern Economic Journal**, v.41, n.3, p.347-381, 1975.

GHAZAL, M. et al. Smart plugs: Perceived usefulness and satisfaction: Evidence from United Arab Emirates. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2015. (in press).

GIDDINGS, B.; HOPWOOD, B.; O'BRIEN, G. Environment, economy and society: fitting them together into sustainable development. **Sustainable Development**, v.10, n.4, p.187–196, 2002.

GIRGENTI, V. et al. From "farm to fork" strawberry system: current realities and potential innovative scenarios from life cycle assessment of non-renewable energy use and green house gas emissions. **Science of the Total Environment**, v.473-474, p.48-53, 2014.

GLOBAL COMPASS. **Planejamento estratégico para internacionalização do setor de iluminação.** [S.l.] Global Compass, 2011. (Relatório Final do Projeto Lux Export/APEX 2011-2015).

GLOBE GROUP. **Our story.** Disponível em: <<http://globe.ca/home/about/our-story/>>. Acesso em: 24 nov. 2015.

GOOD ENERGY. **Environmental report.** [S.l.]: Good Energy, 2005. Disponível em: <http://www.good-energy.co.uk/PDF/GE_enviro_report_2005.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2006.

GOODMAN, T. et al. **Lighting for improved human performance, health and well-being, and increased energy efficiency – a scoping study for CIE-UK.** Teddington: National Physical Laboratory, 2006. 84p. (Report DQL-OR019).

GOROBETS, A. The global systemic crisis and a new vision of sustainable human development. **Environment, Development and Sustainability**, v.13, n.4, p.759-771, 2011.

GRANQVIST, C.G. **Fenestration for reducing building cooling needs: an introduction to spectral selectivity, thermochromics, and electrochromics, eco-efficient materials for mitigating building cooling needs.** Oxford: Woodhead Publishing, 2015.

GRIMM, N.B. et al. Global change and the ecology of cities. **Science**, New Series, v.319, n.5864, p.756-760, 2008.

GRISI, C.C.H.; BRITTO, R.P. Técnica de cenários e o método Delphi: uma aplicação para o ambiente brasileiro. In: SEMINARIOS DE ADMINISTRAÇÃO, 6., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP/FEA, 2003.

GYDESEN, A.; MAIMANN, D. **Life cycle analyses of integral compact fluorescent lamps versus incandescent lamps, energy and emissions**. Lyngby: Technical University of Denmark, 1991. 7p.

HALME, M.; JASCH, C.; SCHARP, M. Sustainable homeservices? Toward household services that enhance ecological, social and economic sustainability. **Ecological Economics**, v.1-2, n.51, p.125-138, 2004.

HARTLEY, D.; JURGENS, C.; ZATCOFF, E. **Life cycle assessment of streetlight technologies**. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 2009. 72p.

HAUGHTON, G. Environmental justice and the sustainable city. **Journal of Planning Education and Research**, v.18, n.3, p.233–243, 1999.

HAUGHTON, G.; HUNTER, C. **Sustainable cities**. London: Routledge, 2003.

HEDIGER, W. Ecological economics of sustainable development. **Sustainable Development**, v.5, n.3, p.101-109, 1997.

HENDRICKSON, C.T. et al. Reducing environmental burdens of solid-state lighting through end-of-life design. **Environmental Research Letter**, v.5, 014016, p.1-9, 2010.

HERTWICH, E.G. et al. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States**, v.112, n.20, p.6277, May 19, 2015.

HOLDEN, E.; LINNERUD, K. The sustainable development area: satisfying basic needs and safeguarding ecological sustainability. **Sustainable Development**, v.15, n.3, p.174–187, 2007.

HONG KONG SDU. **Sustainability assessment**. 2005. Disponível em: <<http://www.susdev.gov.hk/html/en/su/sus.htm>>. Acesso em: 6 nov. 2006.

HONG, J. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. **Waste Management**, v.30, n.11, 2010.

ILUME. Departamento de Iluminação Pública. **Modernização da iluminação na cidade de São Paulo**. Entrevista concedida em 15 de março de 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014 - Synthesis Report - Summary for Policymakers**. Geneve: IPCC, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy Conservation in Buildings and Community Systems. **Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings**. Paris: IEA/ECBCS, 2010. (Annex 45)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14045:2012(en):** Environmental management - Eco-efficiency assessment of product systems - Principles, requirements and guidelines. Geneva: ISO, 2012.

IZSÓ, L. et al. Psychophysiological, performance and subjective correlates of different lighting conditions. **Lighting Research Technology**, v.41, p.349–360, 2009.

JUNNILA, S.; RISTIMÄKI, M. Public demand for eco-efficient concepts in urban development. **International Journal of Strategic Property Management**, v.16, n.1, p.21–36, 2012.

KALLIO, T.J.; NORDBERG, P.; AHONEN, A. ‘Rationalizing sustainable development’ – a critical treatise. **Sustainable Development**, v.15, n.1, p.41–51, 2007.

KANG, H.Y.; SCHOENUNG, J.M. Economic analysis of electronic waste recycling: modeling the cost and revenue of a materials recovery facility in California. **Environmental Science Technology**, v.40, n.5, p.672–1680, 2006.

KEIRSTEAD, J. Benchmarking urban energy efficiency in the UK. **Energy Policy**, v.63, 575–587, 2013.

KEIRSTEAD, J.; LEACH, M. Bridging the gaps between theory and practice: a service niche approach to urban sustainability indicators. **Sustainable Development**, v.16, p.329–340, 2008.

KICHERER, A. et al. Eco-efficiency – combining life cycle assessment and life cycle costs via normalization. **International Journal of LCA**, v.1212, n.7, p.537–543, 2007.

KINZEY, B. **Restoring Detroit’s Street Lighting System**. Washington, DC: U.S. Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory, 2015.

KORTMAN, J. G. M.; VAN KAMPEN, M. G. H. L.; VERHOEF, A. **A life cycle assessment of the environmental impact of photovoltaic streetlight systems**. Amsterdam: Netherlands Agency for Energy and the Environment, University of Amsterdam, 1997.

KRISHNAN, N. et al. A hybrid life cycle inventory of nano-scale semiconductor manufacturing. **Environmental Science and Technology**, v.42, n.8, p.3069–3075, 2008.

KUMAR, N.; KUMAR, G.; KUMAR, A. A techno-economic comparative analysis of energy efficient luminaires in the context of emerging DSM Initiatives in India. In: IEEE INDIA ANNUAL CONFERENCE, 2011, Hyderabad. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2011. 6p.

LAM, J.C.; CHAN, W.W. Life cycle and green cost analysis of energy-efficient lighting for hotels. **Architectural Science Review**, v.44, p.135–138, 2011.

LANDIS, A.E.; BILEC, M.M. RAJAGOPALAN, N. Life cycle assessment for evaluating green products and materials. In: US-JAPAN WORKSHOP ON LIFE CYCLE ASSESSMENT OF SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE MATERIALS, 2009, Sapporo, Japan. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009. 6p.

LAPPONI, J.C. **Projetos de investimentos: construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel**. São Paulo: Treinamento e Editora, 2000.

LAWRENCE, A. et al. Using service level agreements for optimising cloud infrastructure services. **Lecture Notes in Computer Science**, v.6569, p.38-49, 2011.

LAZEAR, E.P. Economic imperialism. **Quarterly Journal of Economics**, v.115, p.99-146, 2000.

LEE, J.Y. et al. Eco-efficiency of H2 and fuel cell buses. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n.2, p.1754-1765, 2011.

LIM, S.-R. et al. Potential environmental impacts of light-emitting diodes (LEDs): Metallic resources, toxicity, and hazardous waste classification. **Environmental Science And Technology**, v.45, n. 1, p.320–327, 2011.

LIM, S.-R., et al. Potential Environmental Impacts from the Metals in Incandescent, Compact Fluorescent Lamp (CFL), and Light-Emitting Diode (LED) Bulbs. **Environmental Science & Technology**, v.47, n.2, p.1040-1047, 2012.

LOE, D.L. Energy efficiency in lighting – considerations and possibilities. **Lighting Research Technology**, v.41, p.209-218, 2009.

LONDON SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMMISSION. **Report on London's Quality of Life Indicators**. London: LSDC, 2005.

LUDWIG, B. The concept of technology assessment – an entire process to sustainable development. **Sustainable Development**, v.5, n.3, p.111– 117, 1997.

MACLAREN, V.W.V. Urban sustainability reporting. **Journal of the American Planning Association**, v.62, n.2, p. 184–202, 1996.

MANNBERG, M.; WIHLBORG, E. Communicative planning – friend or foe? Obstacles and opportunities for implementing sustainable development locally. **Sustainable Development**, v.16, n.1, p.35-43, 2008.

MARTÍNEZ ALIER, J.; SCHLÜPMANN, K. **La ecología de la economía**. México: Fondo de Cultura Económica, 1991.

MATTHEWS, D.H. et al. Energy consumption in the production of high-brightness light-emitting diodes. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE SYSTEMS AND TECHNOLOGY, 9., 2009, Tempe, EUA. **Proceedings...** New York: IEEE, 2009.

MAYHOUB, M.S.; CARTER, D.J. Hybrid lighting systems: performance and design. **Lighting Research Technology**, v.44, p.261–276, 2012.

MCALPINE, P.; BIRNIE, A. Is there a correct way of establishing sustainability indicators? The case of sustainability indicator development on the Island of Guernsey. **Local Environment**, v.10, n.3, p.243–257, 2005.

MCGRANAHAN, G. et al. Urban systems. In: HASSAN, R.; SCHOLLES, R.; ASH, N. (Ed.). **Millenium ecosystem assessment: ecosystems and human well-being, current state and trends**. Washington, DC.: Island, 2005. v.1, p.795–825.

MCKINSEY AND COMPANY. **Infrastructure productivity**: How to save \$1 trillion a year. [S.l.]: McKinsey 2013.

MCPHEARSON, T. et al. Resilience of and through urban ecosystem services. ecosystem services. **Ecosystem Services**, v.12, p.152-156, 2015.

MEADOWS, D. L. et al. **Limites do crescimento**: um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade. São Paulo: Perspectiva, 1972.

MEGA, V. **Sustainable development, energy and the city**: a civilisation of visions and actions. New York: Springer, 2005.

MENDONÇA, M.B. Técnicas de prospecção e análise de cenários futuros nos governos e Administração Pública do Brasil: Revisão da produção científica brasileira de 2001 a 2010. In: ENCONTRO DE ESTUDOS EM ESTRATÉGIA, 3., 2011, Porto Alegre. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2011.

MENET, J.L. A simplified life cycle assessment applied to a coupled solar and eolic street light. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGIES AND POWER QUALITY, 2012, Santiago de Compostela, Spain. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2012. 6p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE, 2007. 12 v.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrumentos econômicos**. Brasília: MMA, 2015.

MOLION, L. C. B, Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.3/4, p.7-24, 2008a.

MOLION, L. C. B, Considerações sobre o aquecimento global antropogênico. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.29, p.7-18, 2008, 2008b.

MOURÃO, R.F.; SEO, E.S.M. Logística reversa de lâmpadas fluorescentes. **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, InterfacsHS**, v.7, n.3, 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/300/287>>. Acesso em: 8 out. 2014.

MUDD, G.; DIESENDORF, M. Sustainability of uranium mining and milling: Toward quantifying resources and eco-efficiency. **Environmental Science and Technology**, v.42, n.7, p.2624-2630, 2008.

MUNASINGHE, M. (Ed.). **Macroeconomics and the environment**. Cheltenham: Edward Elgar, 2002. 674p.

NAVIGANT CONSULTING EUROPE LTD. **Life cycle assessment of ultra-efficient lamps**. London: Department for Environment, 2009. 104p. (Report for Food and Rural Affairs (DEFRA), Nobel House)

NERI, P. et al. Life Cycle Assessment of an emergency lamp manufactured by the firm BEGHELLI. In: SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, 2001. **Proceedings...** Bellingham, WA: SPIE, 2001. p.96-105.

NEUMAYER, E. **Weak versus strong sustainability**: exploring the limits of two opposing paradigms. 2.ed. Cheltenham: Elgar, 2004.

NEWMAN, L. The virtuous cycle: incremental changes and a process-based sustainable development. **Sustainable Development**, v.15, n.4, p.267–274, 2007.

NIJKAMP, P.; OPSCHOOR, H. Urban environmental sustainability: critical issues and policy measures in a Third World context. In: CHATTERJEE, M. (Ed). **Urban Policies in Third World Countries**. New York: MacMillan, 1995.

NORRIS, G.A. Integrating economic analysis into LCA. **Environmental Quality Management**, v.10, n.3, p.59-64, 2000.

NORRIS, G.A. Integrating life cycle cost analysis and LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.6, n.2, p.118-120, 2001.

OFGEM. **Sustainable Development Report 2006**. Disponível em: <http://www.ofgem.gov.uk/temp/ofgem/cache/cmsattach/17344_susdevbro06.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2006.

OLIVETTI, E.A.; DUAN, H.; KIRCHAIN, R.E. **Exploration into the environmental assessment of electrical products- phase I**: method development for carbon footprint assessment as applied to motor and lighting products. Boston: Materials Systems Laboratory / MIT, 2012. 51p. (Report for National Electrical Manufacturers Association).

ONAYGIL, S.; GÜIER, Ö.; ERKIN, E. Cost analyses of led luminaires in road lighting. **Light & Engineering**, v.20, n.2, p. 39-45, 2012.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Energy for cooking in developing countries. In: **World Energy Outlook**. Paris: OECD, 2006. cap. 15.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração da Conferência de ONU no Ambiente Humano**. Estocolmo: ONU, 1972. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/estocolmo.doc>. Acesso em: 15 ago. 2015.

ORIE, M.; STAHEL, W. R. (Ed.). **UNISDR Case Study Report**. Geneve, Switzerland: Global Assessment Report On Disaster Risk Reduction, 2013.

OSMANI, M. Construction waste. In: LETCHER, T.M.; VALLERO, D.A. (Ed.). **Waste: a handbook for management**. Burlington, MA.: Academic Press, 2011. Cap. 15, p.207-218.

OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH. **Life Cycle Assessment of Illuminants**: a comparison of light bulbs, compact fluorescent lamps and led lamps: Executive Summary. Berlin: Innovations Management, Regensburg, Germany and Siemens Corporate Technology, Center for Eco Innovations, 2009.

PALMA, R.S.; ARMANDO, C.; NOGUEIRA, J. Integration of the input-output approach into life cycle framework: state of the art. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ASSESSMENT, 3., 2009, Pucon, Chile. **Proceedings...** [S.l.]: CILCA, 2009.

PAN, H.B. et al. Investigation of dependence degree of adjacent communities' economy on resources of the Zhangjiangkou Mangrove Forestry National Nature Reserve. **Wetland Science**, v.4, n.4, p.274-279, 2006.

PARRIS, T.M.; KATES, R.W. Characterizing and measuring sustainable development. **Annual Review of Environment and Resources**, v.28, p.559-586, 2003.

PARSONS, D. The environmental impact of compact fluorescent lamps and incandescent lamps for Australian conditions. University of Southern Queensland. **The Environmental Engineer**, v.7, n.2, p. 8-14, 2006.

PEARCE, D. W. **Economic values and natural world**. Cambridge: MIT Press, 1993.

PEARCE, D.; BARBIER, E.; MARKANDYA, A. **Sustainable development economics and environment the third world**. Hants: Edward Elgar Publishing, 1990.

PEARCE, D.; MARKANDYA, A.; BARBIER, E. **Blueprint for a green economy**. London: Earthscan Publications, 1989.

PEARCE, D.; TURNER, R. **Economics of natural resources and the environment**. New York: Harvester Wheatsheaf, 1990.

PEZZEY, J. **Economics analysis of sustainable growth and sustainable development**. Washington, DC: World Bank, 1989. (Working Paper 15).

PFEIFER, R. P. Comparison between filament lamps and compact fluorescent lamps. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.1, n.1, p.8-14, 1996.

PIGOU, A.C. **Economics of welfare**. London: Macmillan Press, 1920. 876p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Chamamento Público 01/2013 – Relatório de Avaliação – análise preliminar dos estudos técnicos para modernização, otimização, expansão, operação e manutenção da infraestrutura da rede de iluminação pública do município de São Paulo, apresentados pelos agentes empreendedores autorizados. chamamento público 01/2013 – Relatório de Avaliação**. São Paulo: PMSP, 2013b. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/participacao_social/consultas_publicas/index.php?p=182594>. Acesso em: 20 ago. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Chamamento Público nº 01/SES/2013 - Processo nº 2013-0.270.788-0**. São Paulo: PMSP, 2013a. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/ilume/>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Concorrência Internacional Nº 01/SES/2015 - Processo administrativo nº 2015-0.097.424-9**, São Paulo: PMSP, 2015. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/noticias/?p=194045>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Consulta Pública do Edital da PPP da Iluminação**. São Paulo: PMSP, 2013d. Disponível em:

<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/participacao_social/consultas_publicas/index.php?p=182594>. Acesso em: 22 ago. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Inventário da Rede Municipal de Iluminação Pública - Anexo XI**. São Paulo: PMSP, 2013c. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/participacao_social/consultas_publicas/index.php?p=182594>. Acesso em: 15 ago. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo**: Lei nº 16.050. São Paulo: PMSP, 2014.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa**. 2.ed. São Paulo: FGV, 2004. Disponível em: <<http://www.fgv.br/ces/ghg>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008 – Combater as alterações climáticas**: solidariedade humana num mundo dividido. New York: PNUD, 2007.

QUIRK, I. **Life-Cycle assessment and policy implications of energy efficient lighting technologies**. Berkeley: University of California, 2009. 14p.

RAMROTH, L. **Comparison of life-cycle analyses of compact fluorescent and incandescent lamps based on rated life of compact fluorescent lamp**. Washington, DC.: Rocky Mountain Institute, 2008.

RAVETZ, J. Integrated assessment for sustainability appraisal in cities and regions. **Environmental Impact Assessment Review**, v.20, p.31-64, 2000.

REBITZER, G.; HUNKELER, D. Life cycle costing in LCM: Ambitions, opportunities, and limitations – Discussing a framework. Editorial. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.8, n.5, p.253-256, 2003.

REES, W. **Ecological footprints and appropriated carrying capacity**: what urban economics leaves out. [S.l: s.n.], 1992a. (Paper presented to Urban Development Stream, Globe '92, Vancouver, BC, March 16-20).

REES, W. **Sustainable development and the biosphere**: concepts and principles. Woodbridge: American Teilhard Association, 1990. (Teilhard Studies, 23).

REES, W. **Understanding sustainable development**: natural capital and the new world order. Vancouver: UBC School of Community and Regional Planning, 1992b.

REES, W.; WACKERNAGEL, M. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable – and why they are a key to sustainability. **Environmental Impact Assessment Review**, v.16, n.4/6, p.223-248, 1996.

RIBEIRO, M.R. **Análise do ciclo de vida**: lâmpada fluorescente compacta versus lâmpada incandescente, cenário atual e estudo de caso na Universidade de São Paulo. 2010. 80 f. Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ROSS, S.A.; WESTERFIELD, R.W.; JAFFE, J.F. **Administração financeira**. São Paulo: Editora Atlas, 1995.

ROTMANS, J.; VAN ASSELTA, M.; VELLINGA, P. An integrated planning tool for sustainable cities. **Environmental Impact Assessment Review**, v.20, p.265-276, 2000.

RUDENAUER, I. et al. Integrated environmental and economic assessment of products and processes – a method for eco-efficiency analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v.9, n.4, 2005.

RUTTER, P.; KEIRSTEAD, J. A brief history and the possible future of urban energy systems. **Energy Policy**, v.50, p.72–80, Nov. 2012.

SAHU, N.C., NAYAK, B. Niche diversification in environmental/ ecological economics. **Ecological Economics**, v.11, p.9-19, 1994.

SANCHEZ JUNIOR, O. **Desenvolvimento de inventário de avaliação do ciclo de vida de luminárias para iluminação pública**. 2010. 183 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.

SCHALTEGGER, S.; STURM, A. **Okologie- induzierte entscheidungsprobleme des managements**. Ansatzpunkte zur ausgestaltung von instrumenten. Ecology induced management decision support. Starting points for instrument formation. Basel, Switzerland: WWZ, 1989. (Discussion Paper 8914).

SCHMIDHEINY, S. **Changing course**: a global business perspective on development and the environment. Cambridge: MIT Press, 1992.

SCHOEMAKER, P.J.H.; VAN DER HEIJDEN, C.A.J.M. Integrating scenarios into strategic planning at Royal Dutch/Shell. **Planning Review**, v.20, n.3, p.41-46, 1992.

SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Balanço Energético do Estado de São Paulo 2015 – Ano Base 2014**. São Paulo: SESP, 2015.

SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Matriz Energética do Estado de São Paulo 2035**. São Paulo: SESP, 2011. (Apresentação realizada para a Arsesp em 28 abr. 2011).

SEO, E.S.M.; KULAY, L.A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v.1, n.1, p. 1-26, ago. 2006.

SFOC. **Community Indicators**. 2004. Disponível em: http://www.sfgov.org/site/controller_page.asp?id=30343>. Acesso em: 6 nov. 2006.

SIMÕES, C.L.; PINTO, L.M.C.; BERNARDO, C.A. Modelling the economic and environmental performance of engineering products: a materials selection case study. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v.17, p.678-688, 2012.

SLOCUM, A.A. **Technology assessment of light emitting diode (LED) solid-state lighting for general illumination**. Washington, DC.: U.S. Environmental Protection Agency / National Center for Environmental Economics, 2005. (Working paper series #05-04, 2005).

SMITH, K.V. Nonmarket valuation of environmental resources: an interpretative appraisal. **Land Economics**, v.69, p.1-26, 1993.

SOARES, G.A. **PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. São Paulo: Ilume Expo, 2015. Disponível em: <http://www.rpmbrasil.com.br/ilumexpo2015/George_Alves_Soares.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2015.

SOARES, S. et al. Applications of life cycle assessment and cost analysis in health care waste management. **Waste Management**, v.33, n. 1, p.175-183, 2013.

SOLOW, R. The economics of resources or the resources of economics. **American Economic Review**, v.64, n.2, p.1-14, 1974.

SONEJI, H. **Life cycle energy comparison of compact fluorescent and incandescent light bulbs**. Sweden: LUMES, Lund University, 2008. 8p. (Sustainability Science Paper)

SONG, H.S.; HYUN, J.C. A study on the comparison of the various waste management scenarios for PET bottles using the life-cycle assessment (LCA) methodology. **Resources, Conservation & Recycling**, v.27, n.3, p.267-284, 1999.

STANNERS, D. et al. Frameworks for policy integration indicators, for sustainable development, and for evaluating complex scientific evidence. In: HÁK, T.; MOLDAN, B.; DAHL, A.L. (Ed). **Sustainability indicators: a scientific assessment**. London: Island, 2007. p.145-162.

SUSTAINLANE. **SustainLane's 2006 US City Sustainability Ranking**. 2006. Disponível em: <<http://www.sustainlane.us/overview.jsp>>. Acesso em: 8 fev. 2007.

SWINBURNE CRD. **Strong, supportive, sustainable communities: indicators for outer Eastern Melbourne**. 2006. Disponível em: <<http://www.swin.edu.au/hosting/sustainableoutereast/suite.php>>. Acesso em: 6 nov. 2006.

TÄHKÄMÖ, L. et al. Comparison of life cycle assessments of LED light sources. **Journal of Light and Visual Environment**, v.36, n.2, p. 44-53, 2012a.

TÄHKÄMÖ, L. et al. Life cycle cost analysis of three renewed street lighting installations in Finland. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.17, p.154–164, 2012b.

TÄHKÄMÖ, L.; HALONEN, L. Life cycle assessment of road lighting luminaires – Comparison of light-emitting diode and high-pressure sodium technologies. **Journal of Cleaner Production**, v.93, p.234-242, 2015.

THIBODEAU, C.; MONETTE, F.; GLAUS, M. Comparison of development scenarios of a black water source-separation sanitation system using life cycle assessment and environmental life cycle costing. **Resources, Conservation & Recycling**, v.92, p.38-54, 2014.

TRIBUNAL DE CONTAS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Despacho do Exmo. Sr. Conselheiro João Antonio TC nº 72.002.036.15-60**. São Paulo: TCMSP, 2015. Disponível em

<<http://www.docidadesp.imprensaoficial.com.br/RenderizadorPDF.aspx?ClipID=C052E8BK G73NOe130672EUK8LJE>>. Acesso em: 30 jun. 2015.

TRUST IN. European Training Partnership on Sustainable Innovation. In: **History and definitions of eco-efficiency**. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <<http://prepare-net.com/project/trust>>. Acesso em: 29 set. 2015.

TURNER, K.; PERRINGS, C.; FOLKE, C. Ecological economics: paradigm or perspective. In: VAN DEN BERGH, J.C.J.M.; VAN DER STRAATEN, J. (Ed.), **Economy and ecosystem in change: analytical and historical approaches**. Cheltenham: Edward Elgar, 1997. p.25-49.

TYNDALL, J. Note on the transmission of radiant heat through gaseous bodies. **Proceedings of the Royal Society of London**, v.10, p.37-39, 1859.

TYNDALL, J. On the absorption and radiation of heat by gases and vapours, and on the physical connexion of radiation, absorption, conduction - The Bakerian Lecture. The London, Edinburgh, and Dublin. **Philosophical Magazine and Journal of Science**, v.22, p.169-194, p.273-285, Series 4, 1861.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Life-Cycle assessment of energy and environmental impacts of led lighting products - Part 1: Review of the life-cycle energy consumption of incandescent, compact fluorescent, and led lamps**. Washington DC, DOE, 2012a. 52p. (Report of Solid-State Lighting Program of Energy Efficiency and Renewable Energy).

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Life-cycle assessment of energy and environmental impacts of led lighting products - Part 2: LED Manufacturing and Performance**. Washington DC, DOE, 2012b. 78p. (Report of Solid-State Lighting Program of Energy Efficiency and Renewable Energy).

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. **Gateway demonstration outdoor projects**. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/ssl/gateway-demonstration-outdoor-projects>>. Acesso em: 02 out. 2015.

UN – HABITAT. **HABITAT III: Cities and climate change and disaster risk management**. New York: 31 May, 2015b. (Issue paper 17).

UN – HABITAT. **HABITAT III: Ecosistemas urbanos e gestão de recursos**. New York, 31 May, 2015a. (Issue paper 16).

UN – HABITAT. **HABITAT III: Infra-estrutura urbana e serviços básicos, incluindo a energia**. New York, 31 May, 2015c. (Issue papers 18).

UN-Habitat. **Solid waste management in the world's cities: water and sanitation in the world's cities**. New York: Un-Habitat, 2010.

UN-HABITAT. **State of the world cities 2012/2013**. New York: Un-Habitat, 2013a.

UN-HABITAT. **Streets as public spaces and drivers of urban prosperity**. New York: Un-Habitat, 2013b.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMMES. **Cleaner production assessment in industries**. Paris: UNEP, 2001a. Disponível em: <<http://www.unep.org/dtie/>>. Acesso em: 21 out. 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMMES. **Cleaner production –related concepts**. Paris: UNEP, 2001b. Disponível em: <<http://www.unep.org/dtie/>>. Acesso em: 21 out. 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMMES. **Green economy report, 12 - cities**. Paris: UNEP, 2011. Disponível em: <http://www.unep.org/greenecomony/Portals/88/documents/ger/GER_12_Cities.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Non-state actor Zone for Climate Action (NAZCA)**. [S.l.]: UNFCCC, 2015. Disponível : <<http://newsroom.unfccc.int/lpaa/cities-subnationals/>>. Acesso em: 07 dez. 2015.

UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, Population Division. **World urbanization prospects: the 2014 revision, highlights** [S.l.]: Undesa, 2014. (ST/ESA/SER.A/352).

VAN DEN BERGH, C.J.M.J. Ecological economics: themes, approaches, and differences with environmental economics. **Regional Environmental Change**, v.2, p.13-23, 2001.

VEITCH, J.A. et al. Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: a linked mechanisms approach. **Lighting Research Technology**, v.40, p.133-151, 2008.

VENKATACHALAM, L. Environmental economics and ecological economics: where they can converge? **Ecological Economics**, v.61, p.550-558, 2007.

VERCALSTEREN, A.; SPIRINCKX, C.; GEERKEN, T. Life cycle assessment and eco-efficiency analysis of drinking cups used at public events. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.15, n.2, p.221-230, 2010.

VERHOEF, E.T. Externalities. In: VAN DEN BERGH, J.C.J.M. (Ed.). **Handbook of environmental and resource economic**. Cheltenham: Edward Elgar, 1999. p.197-214.

VICTOR, P. Indicators of sustainable development: some lessons from capital theory. **Ecological Economics**, v.4, p.151-213, 1991.

VITO. **Preparatory studies for eco-design requirements for EuPs**: final draft lot: 9: public street lighting. [S.l.]: Vito, 2007a. 344p. (Report for the European Commission DG TREN unit D3).

VITO. **Preparatory studies for eco-design requirements of EuPs**: final report, lot 8: office lighting. [S.l.]: Vito, 2007b. 110p. (Report for the European Commission DG TREN unit D3).

VITO. **Preparatory studies for eco-design requirements of EuPs**: lot 19: domestic lighting, part 1- non-directional light sources. [S.l.]: Vito, 2009. 657p. (Report for the European Commission DG TREN unit D3).

VOGTLÄNDER, J.G., BREZET, H.C., HENDRIKS, C.F. The virtual Eco-costs '99: A single LCA-based indicator for sustainability and the Eco-costs - Value ratio (EVR) model for economic allocation: A new LCA-based calculation model to determine the sustainability of products and services. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.3, n.6, p.157-166, 2001.

WAHLGREN, I. Assessing ecological sustainability in urban planning - EcoBalance model. **VTT Symposium (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus)**, v.262, p.106-121, 2009.

WAKI, K. Impact assessment of life cycle assessment case study of LCA of lighting fixtures. **Journal of the Japan Institute of Energy**, v.78, n.4, p. 280-286, 1999.

WALTON, J.S.; EL-HARAM, M.; CASTILLO, N.H. Integrated assessment of urban sustainability. **Proceedings Institution of Civil Engineers Engineering Sustainability**, n. 2, p.57-65, 2005.

WANG, N.; BOUBEKRI, M. Design recommendations based on cognitive, mood and preference assessments in a sunlit workspace. **Lighting Research Technology**, v.43, p.55-72, 2011.

WEBSTER, C.J. Sustainability and public choice: a theoretical essay on urban performance indicators. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v.25, n.5, p.709-729, 1998.

WELZ, T.; HISCHIER, R.; HILTY, L.M. Environmental impacts of lighting technologies - life cycle assessment and sensitivity analysis. **Environmental Impact Assessment Review**, v.31, n.3, p. 334-343, 2011.

WESSLER, B.; TOBER, U. Green photonics: the role of photonics in sustainable product design. In: THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, 2011. **Proceedings...** Bellingham, WA: SPIE, 2011.

WIEK, A.; BINDER, C. Solution spaces for decision-making – a sustainability assessment tool for city-regions. **Environmental Impact Assessment Review**, v.25 p.589–608, 2005.

WILHELM, B. et al. Increased illuminance at the workplace: Does it have advantages for daytime shifts? **Lighting Research Technology**, v.43, p.185–199, 2011.

WORLD BANK. Development Research Group Urban and Disaster Risk Management Department. **A Global Urban Risk Index. Policy Research**. [S.l.]: WB, 2013. (Working Paper 6506).

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Ecoefficiency and cleaner production**: charting the course to sustainability. Geneve, WBCSD, 1996.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Ecoefficiency**: creating more value with less impact. Geneve, WBCSD, 2000b.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Measuring Ecoefficiency**: a guide to reporting company performance. Geneve, WBCSD, 2000a.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Paris and the climate talks:** business' shortest route to success, President's Blog, 2015. Disponível em: <<http://president.wbcsd.org/>>. Acesso em: 20 set. 2015.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. World Resources Institute. **The GHG Protocol for Project Accounting.** Geneve: WBCSD/ WRI, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on drinking water and sanitation.** Geneve: Library Cataloguing, 2014a.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Public health, environmental and social determinants of health.** Geneve: WHO, 2014b. (Issue 63).

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories:** an accounting and reporting standard for cities. Washington: WRI, 2014.

WRIGHT, J. **Técnica brainwriting aplicada à identificação de fatos portadores do futuro.** São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2008.

WRIGHT, J.; JOHNSON, B. **Cenários de telecomunicação no Brasil.** São Paulo: Fundação Instituto de Administração /Telebrás, 1984. (Relatório de consultoria).

YOUNG, R. **Global manufacturing trends:** what can we learn from the HB LED market explosion? Austin: IMS Research, 2012.

ZHU, Z.B.; MIAO, J.; CUI, W. Measuring regional eco-efficiency: a non-oriented slacks-based measure analysis. **International Journal of Earth Sciences and Engineering**, v.7, 6, p. 2520-2527, 2014.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº. 479, de 03 de abril de 2012**. Brasília: ANEEL, 2012.

ALSTONE, P. et al. High life cycle efficacy explains fast energy payback for improved off - grid lighting systems. **Journal of Industrial Ecology**, v.18, n.5, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BAGAN, H. Land cover change analysis in 50 global cities by using a combination of Landsat data and analysis of grid cells. **Environmental Research Letters**, v.9, p. 1-13, 2014.

BAGHERI, A.; HJORTH, P. Planning for sustainable development: a paradigm shift towards a process-based approach. **Sustainable Development**, v.15, n.2, p.83–96, 2007.

BASIAGO, A.D. Methods of defining ‘sustainability’. **Sustainable Development**, v.3, n.3, p.109–119, 1995.

BLENGINI, G.A.; DI CARLO, T. Energy-saving policies and low-energy residential buildings: an LCA case study to support decision makers in Piedmont (Italy). **International Journal Life Cycle Assessment**, v.15, n.7, p.652–665, 2010.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. 73 p. (Série legislação n. 81),

CHANG, M. et al. A return on investment analysis of applying health monitoring to LED lighting systems. **Microelectronics Reliability**, v.55, p.527–537, 2015.

CHEN, Z. L.; WANG, A.-Y. Assessment method for green lighting product. **Journal of Chongqing Jianshu University**, v.22, n.3, p. 7-11, 2000.

CIROTH, A. et al. Life cycle costing – a code of practice. **International Journal Life Cycle Assessment**, v.16, p.389–391, 2011.

COASE, R. The problem of social cost. **Journal of Law and Economics**, v.3, p.1-44, 1960.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988. 430p.

CONFERENCE ON WHITE LEDS AND SOLID STATE LIGHTING, 3., 2010, Eindhoven, Netherlands. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2010. p.325-326,

COSTA, M.I.L.; SILVA, E.R.; MATTOS, U.A.O. 20 Anos de eco-eficiência. evolução e aplicação do conceito no Brasil: de estratégia de negócios a princípio de política pública. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Firjan, 2009.

DALE, H. Economic for a full world. In: **A great transition initiative essay**. June, 2015. Disponível em: <<http://www.greattransition.org/publication/economics-for-a-full-world#figure-1>>. Acesso em: 29 set. 2015.

DALY, H. Economics for a Full World, **Discurso por ocasião do recebimento do Prêmio “Blue Planet” em junho de 2015**. Tokyo, 2015. Disponível em: <<http://www.greattransition.org/publication/economics-for-a-full-world#figure-1>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

DIAZ, R.; ROSENBERG, R. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. **Science**, v.321, p.926-929, 2009.

DYER, J.S. et al. Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: The next ten years. **Management Science**, v.38, p.645–654, 1992.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks: the triple bottom line of the 21st century business**. Gabriola Island, CA: New Society Publishers, 1998. (The Conscientious Commerce Series).

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

ENSSLIN, L. et al. Avaliação do desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia multicritério de apoio à decisão-construtivista. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 30, 125-152, 2010.

FORSUND, F.R.; STRON, S. The generation of residual flows in Norway: an input-output approach. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.3, p.129-141, 1976.

FOURIER, J. B. J. Memoire sur les temperatures du globe terrestre et des espaces planetaires. **Memoires de l'Académie Royale des Sciences**, v.7, p. 569-604, 1827.

FOURIER, J. B. J. Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. **Annales de Chimie et de Physique**, v. 27, p.136–167, 1824.

FRANZ, M.; NICOLICS, J. Environmental aspects of white LED lighting systems: Energy statistics, study parameters, rare earths. **Electronics Technology (ISSE)**, p.396-401, 2015.

FRAUNHOFER IZM. **Guia de ferramentas de ecodesign**. Berlim: Fraunhofer, 2005.

GALLOPIN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. **Environmental Modelling & Assessment**, v.1, p.101-117, 1996.

GARZA-REYES, J. A. Lean and green – a systematic review of the state of the art literature. **Journal of Cleaner Production**, v.102, p.18-29, 2015.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **Sustainability Reporting Guidelines**. Amsterdam: GRI, 2011. (Indicator Protocols Set: EC1). Disponível em: <<https://www.globalreporting.org/resource/library/G3.1-Guidelines-Incl-Technical-Protocol.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

HANSEN, M. **Energy-efficient lighting lifecycle**. [S.l.]: Cree, 2009. (White Paper).

HART, S.; MILSTEN, M. Criando valor sustentável. **Revista de Administração de Empresas – RAE Executivo**, v.3, n.7, p. 65-79, maio/jun. 2004.

HENDRICKSON, C. T.; LAVE, L. B.; MATTHEWS, H. S. **Environmental life cycle assessment of goods and services – an input-output approach**. Washington: RFF, 2006.

HICKS, A.L.; THEIS, T.L.; ZELLNER, M.L. Emergent Effects of Residential Lighting Choices: Prospects for Energy Savings. **Journal of Industrial Ecology**, v.19, n.2, p. 285-295, 2015.

HOPWOOD, B.; MELLOR, M.; O'BRIEN, G. Sustainable development: mapping different approaches. **Sustainable Development**, v.13, n.1, p.38-52, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/censo2010/primeiros_dados_divulgados/index.php>. Acesso em: 04 dez. 2012.

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, **Recommended system for mesopic photometry based on visual performance**. [S.l.]: ICI, 2010. (CIE 191).

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, **The correlation of models for vision and visual performance**. [S.l.]: ICI, 2002b. (CIE 145:2002).

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. **Guide on interior Lighting**. [S.l.]: ICI, 1986. (CIE 29.2)

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. **Lighting of work places – Part 1: Indoor**. [S.l.]: ICI, 2002. (CIE S 008/E: 2001/ISO 8995-1:2002(E)).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2008**. Paris: OECD/IEA, 2008.

KANASHIRO, V. U. **Esboços de uma sociologia do conhecimento da questão ambiental: concepções de sustentabilidade e produção acadêmica brasileira - uma análise da base Scielo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Sociologia) - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

KEENEY, R. L. Decision analysis: an overview. **Operations Research**, v.30, n.5, p.803-838, Sept./Oct. 1982.

KORTELAINE, M. Dynamic environmental performance analysis: a Malmquist index approach. **Ecological Economics**, v.64, n.4, p.701-715, 2008.

LASCHEFSKI, K. 500 anos em busca da sustentabilidade urbana. **Cadernos Metrpole**, v.15, n.29, p.143-169, jan./jun. 2013. Disponível em: <<http://www.cadernosmetropole.net/component/content/article/31/50-255>>. Acesso em: 24 nov. 2015.

LEIJTING, J. Comparative analysis of led commercial lighting systems. **Engineering Materials**, v.572, n.1, p. 54-57, 2014.

LEONTIEF, W.; FORD, D. Air pollution and the economic structure: empirical results of input-output computations. In: BRODY, A.; CARTER, A.P. (Ed.). **Input-Output Techniques**. Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1972. p. 9-30.

- LUKE, T.W. Neither sustainable nor development: reconsidering sustainability in development. **Sustainable Development**, v.13, n.4, p.228– 238, 2005.
- MAHILA, T. M. I.; RAZAK, H. A.; NURSAHIDA, M. A. Life cycle cost analysis and payback period of lighting retrofitting at the University of Malaya. **Renewable Sustainable Energy Review**, v. 15, n.2, p.1125-1132, 2011.
- MANKIW, G.N. **Introdução à economia**: princípios de micro e macroeconomia. São Paulo: Elsevier, 2001. 229p.
- MARIMUTHU, C.; KIRUBAKARAN, V. Carbon and energy pay back period for the solar street light using life cycle assessment. **International Journal of ChemTech Research**, v.8, n.3, p.1125-1130, 2015.
- MEBRATU. D. Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. **Environmental Impact Assessment Review**, v.18, n.6, p.493–520, 1998.
- MOREIRA, F., ALVES, A.C., SOUSA, R.M., Towards eco-efficient lean production systems, Balanced Automation Systems for Future Manufacturing Networks. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v.322, p.100-108, 2010.
- MORGENSTERN, O., VON NEUMANN, J. **Theory of games and economic behavior**. Princeton: Princeton University Press, 1947.
- MORIGUCHI, Y.; KONDO, Y.; SHIMIZU, H. Analyzing the life cycle impact of cars: the case of CO₂. **Industrial and Environment**, v.16, n.1-2, p.42-45, 1993.
- NORGAARD, R. B. The case for methodological pluralism. **Ecological Economics**, v.1, p.37-57, 1989.
- ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano – 1972**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/estocolmo1972.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2015.
- PARK, Y.S.; EGILMEZ, G.; MURATKUCUKVAR, M. A novel life cycle-based principal component analysis framework for eco-efficiency analysis: case of the United States manufacturing and transportation nexus. **Journal of Cleaner Production**, v.92, p.327-342, 2015.
- PETERS, G.; HERTWICHA, E.G. A comment on “Functions, commodities and environmental impacts in an ecological–economic model.” **Ecological Economics**, v.59, n.1, p.1-6, 5 Aug. 2006.
- PORTER, M.E. **Estratégia competitiva**: técnicas para análise de indústria e da concorrência. Rio de Janeiro: Campus, 1991. 362p.
- PRATT, D.C.; LIVINGTON, R.; GRELLMAN, K.H. Flash photolysis of rod particle suspensions. **Photochemical Photobiology**, v.3, p.121-127, 1964.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Síntese das contribuições apresentadas da consulta pública**. São Paulo: PMSP 2013. Disponível em:

<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/respostas_consulta_publica_1430260181.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2015.

PRINCIPI, P., FIORETTI, R. A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office - Compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED) - A case study. **Journal of Cleaner Production**, v.83, p.96-107, 2014.

RICHARDSON, H. **Insumo – Produto e Economia Regional**. Rio de Janeiro: Zahar, 1972.

ROBAINA-ALVES, M.; MOUTINHO, V.; MACEDO, P. A new approach to model the eco-efficiency in European countries. **Journal of Cleaner Production**, v.103, p.562-573, Sept. 2015.

SÃO PAULO (Estado). **Plano Plurianual do Governo do Estado de São Paulo, PPA 2012-2015, Lei 14.676/2011**. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=164964>>. Acesso em: 14 set. 2015.

SAVAGE, L.J. **The foundations of statistics**. New York: John Wiley, 1954.

SENAI SÃO PAULO DESIGN. **Cadeia produtiva do setor de iluminação**. São Paulo: Fiesp, [2012].

SORRELL, S. Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. **Energy Policy**, v.37, p.1456-1469, 2009.

SUH, S. Downstream cut-offs in integrated hybrid life-cycle assessment. **Ecological Economics**, v.59, n.1, p. 7-12, Aug. 2006.

SWARR, T.E. et al. **Environmental life-cycle-costing: a code of practice**. Pensacola: SETAC, 2011.

TANTEMSAPYA, N.; YOSSAPOL, C. **Final Report: Life Cycle Analysis for Fluorescent Lamps in Khon Kaen Municipality**. [S.l.]: The National Research Center for Environmental and Hazardous Management, 2005.

TECHATO, K.; WATTS, D.J.; CHAIPRAPAT, S. Life cycle analysis of retrofitting with high energy efficiency air-conditioner and fluorescent lamp in existing buildings. **Energy Policy**, v.37, p.318–325, 2009.

THOMSON, I.; GRUBNIC, S.; GEORGAKOPOULOS, G. Exploring accounting-sustainability hybridisation in the UK public sector. **Accounting, Organizations and Society**, v.39, n.6, p.453-476, 2014.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **DOE SSL Program**. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/ssl/financial-opportunities>>. Acesso em: 14 set. 2015.

VIANNA, F. C. **Análise de ecoeficiência avaliação do desempenho econômico-ambiental do biodiesel e petrodiesel**. 2006. 182 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

VIOLETA, S.; GHEORGHE, I.G. Eco-efficiency: a romanian perspective. In: INTERNATIONAL BUSINESS INFORMATION MANAGEMENT ASSOCIATION CONFERENCE, 12., 2009, Kuala Lumpur, Malaysia. **Proceedings...** [S.l.]: IBIMA, 2009.

WOOD, R. W. Note on the Theory of the Greenhouse, The London, Edinburgh and Dublin Philosophical. **Magazine and Journal of Science**, v.17, Series 6, p. 319-320, 1909.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Levantamento dos trabalhos sobre qualidade em iluminação (Quadro 13).	204
APÊNDICE B - Levantamento dos Trabalhos de ACV em Iluminação (Quadro 14).	206
APÊNDICE C - O caso da PPP de São Paulo.	212
APÊNDICE D - Inventários para o aspecto ambiental emissões de GEE.....	217
APÊNDICE E - Planilha de Inventário da linha de base ou situação atual (Tabela 11).	227
APÊNDICE F - Planilha de dados desenvolvida para suporte à análise econômica e ambiental (Tabela 12).....	228
APÊNDICE G - Extrato de Planilhas do GHG Protocol Brasil, tela de entrada (Quadro 15).	229
APÊNDICE H - Resultados da Aplicação do Protocolo.	231

APÊNDICE A - Levantamento dos trabalhos sobre qualidade em iluminação (Quadro 13).

#	Autor	Objetivo	Método	Área de aplicação sob análise	Parâmetros de qualidade objetivos monitorados	Região / população	Observações
1	Abdou, 1997	Adquirir e sistematizar informações quantitativas sobre a relação entre o trabalho em ambientes internos e produtividade no trabalho	Pesquisa de consultoria com levantamento de publicações para cliente no setor industrial	Influência das condições de iluminação na desempenho de tarefas no setor produtivo (industrial)	Fatores físicos: distribuição espectral da fonte de luz, reprodução de cores, brilho intenso, iluminação natural por janelas e tipo de vidros das janelas (transmitância de luz e calor). Cita a existência de parâmetros biológicos, psicológicos e comportamentais de pessoas.	Não específica. Cita esforço da NEMA americana para a questão.	Classifica aplicações de iluminação em 8 áreas: localizada, de ambiente, de tarefas, de destaque, de emergência, de segurança e de decoração. Cita a importância dos custos dos serviços de iluminação e suas métricas.
2	Eloholma et al., 2005	Estudar os parâmetros presentes na visão noturna (mesópica) para condutores de veículos usando os principais modelos existentes	Pesquisa da desempenho da visão mesópica para responder se: Isto pode ser visto? Com que velocidade? O que é isso?	Iluminação de vias públicas, iluminação de ambientes externos, iluminação de outros ambientes de tráfego noturno e iluminação de emergência	Para responder se ‘isto pode ser visto?’ o parâmetro principal é contraste (objeto x fundo); para responder “Com que velocidade?”, os parâmetros são tempo de reação e cor dos objetos e para responder “O que é isso?”, os parâmetros são o limiar da sensibilidade e a intensidade de emissão	Finlândia	Os dados foram utilizados pelo CIE TC1-58 como referência
3	Fotios e Cheal, 2005	Avaliar o compromisso entre reprodução de cor e nível de iluminância no contexto da iluminação noturna	Teste com instrumentação para visualização e vários tipos de alvos com vários tipos de lâmpadas	Iluminação de vias públicas	Acuidade para alvos cromáticos e acromáticos, limiar de detecção para contraste acromático e percepção de cores	Inglaterra	Concluíram que o espectro de emissão não interfere para alvos acromáticos e nível de iluminância afeta para visualização de todos os alvos
4	Goodman et al., 2006	Fazer uma revisão do conhecimento atual sobre a influência da luz e iluminação para desempenho humano, saúde, segurança e bem-estar	Pesquisa bibliográfica e discussão com especialistas	Iluminação e envelhecimento da população, iluminação do ambiente de trabalho, iluminação para segurança, seguridade e contra o crime, iluminação para viagens e transportes, iluminação para saúde e bem-estar e iluminação para eficiência energética	Parâmetros que afetam visibilidade e desempenho para tarefas: iluminância e luminância, distribuição espectral. Outros parâmetros de influência: brilho intenso, polarização e flicker. Cita influências psicológicas como percepção, motivação, preferência, e humor e efeitos não visuais tais como sistema circadiano humano, melatonina, dose de luz diária, e efeitos fotobiológicos	Não específico (é um review)	Os dados foram utilizados pela CIE. Estudo abrangente e completo.
5	Veitch et al., 2008	Reportar o resultado da análise de dois experimentos a partir de um modelo de bem estar e desempenho	Planejamento, realização e análise de experimentos	Iluminação de escritórios	Vários layouts variando iluminancia no plano de trabalho, tipo de lâmpada, distribuição do feixe luminoso, controles com dimerização e acabamento das paredes	Albany, NY, EUA	Avalia as correlações entre os parâmetros para determinar aquelas de melhor resultados. Parâmetros para bem-estar são diferentes daqueles para produtividade

continua

Continuação do Quadro 13.

#	Autor	Objetivo	Método	Área de aplicação sob análise	Parâmetros de qualidade objetivos monitorados	Região / população	Observações
6	Fostervold e Nersveen, 2008	Investigar o uso de iluminação indireta em escritórios	Experimento com pessoas variando layout e proporções de luz direta x luz indireta	Iluminação de escritórios	Efeitos psicológicos subjetivos, e medidas técnicas de temperatura ambiente, concentração de dióxido de carbono no ambiente e dados fotométricos (iluminância, luminância e contraste de cores)	Oslo	O trabalho concluiu que não há relações específicas preferenciais entre luz direta e indireta
7	Loe, 2009	Identificar oportunidades de eficiência energética em iluminação sem comprometer bem-estar, produtividade, segurança e saúde	Texto descritivo com citações de referências	Não trata de uma aplicação específica, aborda todas realçando o uso de luz natural, controles, etc.	Brilho intenso, fluxo luminoso, reprodução de cor, nível e distribuição de luminâncias, nível e distribuição de iluminâncias, flicker, controles e associação com luz natural	Inglaterra	Foca em oportunidades de eficiência energética
8	Izsó et al., 2009	Identificar dados empíricos para desenvolvimento de um sistema de iluminação residencial adaptativo para idosos	Experimento em ambiente controlado com mudança de parâmetros	Iluminação residencial	Nível e distribuição de iluminâncias e temperatura de cor. Levantaram-se as reações psicológicas subjetivas em várias condições.	Budapest	Concluiu que temperatura de cor e iluminância baixa relaxam, se ambas forem médias, ajudam na desempenho de tarefas
9	Wang e Boubekri, 2011	Estabelecer um método para projeto de iluminação natural utilizando abordagem comportamental	Experimento com monitoramento comportamental em ambiente controlado com mudança de layout	Iluminação de sala de aula	Iluminância horizontal, luminância horizontal e luminância vertical	Illinois, EUA	Conclui que o projeto de iluminação precisa mudar para incorporar questões comportamentais e o tipo de atividade a ser realizado. Aposta no melhor uso de iluminação natural para eficiência energética
10	Wilhelm et al., 2011	Investigar a relação entre nível de iluminância e produtividade	Experimento em ambiente produtivo com variação de condições de iluminação e da produtividade	Iluminação industrial (produção de automóveis)	Iluminância no plano de trabalho	Alemanha	Alerta que não há relação significativa entre iluminância e produtividade. Projetos devem levar em consideração que iluminância mais alta faz diferença apenas para desemp. visual, bem-estar subjetivo e estado de alerta
11	Mayhoub e Carter, 2012	Estudar um sistema de iluminação híbrida (luz natural e artificial) para estabelecer recomendações de projeto	Experimento comparativo de duas tecnologias	Iluminação comercial e ambientes de trabalho	Iluminância externa, iluminância interna, fluxo luminoso e distribuição de intensidade luminosa	Liverpool, Inglaterra	Alerta para a necessidade de luminárias preverem soluções para luz natural e artificial (captação e transporte da luz por guias), a serem utilizadas conforme o caso,
12	International Energy Agency, 2010	Identificar e promover o uso de tecnologias de alta eficiência e qualidade em iluminação	Levantamento junto a publicações e fabricantes, estudos de casos e trabalho em comitês divididos por temas	Inespecífico (estuda casos em todas as aplicações)	Desempenho visual (iluminância x contraste), conforto visual (distribuição luminosa, brilho intenso, mascaramento com reflexões, sombras e flicker), características cromáticas da fonte	Inespecífico (estuda casos em todo o mundo)	Foca na economia de energia e tecnologias de iluminação

Quadro 13 – Levantamento dos trabalhos sobre qualidade em iluminação.

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B - Levantamento dos Trabalhos de ACV em Iluminação (Quadro 14).

#	Tipo de Documento relatório publico artigo em periódico anais de eventos outros	AUTORIA, ano	Tipo de ACV process-LCA/EIO- LCA/híbrido-LCA/LCC atribucional/consequen- cial; conceitual/simplificada /detalhada	Objetivo marketing de empresas P&D&I-Educação projeto de produto ou processo rotulagem declarações gestão publica	Escopo berço-ao- tumulo berço-a-porta porta-a-porta porta-ao- tumulo	Produto e Área de Aplicação Lâmpada/luminária/in- stalação; Residencial Publica Comercial Industrial outros	Unidade Funcional	Segue ISO 14044? Sim/Não	Região para Escopo
1	Artigo em periódico	Aman et al., 2013	Process-LCA comparativa (usa dados de outras publicações); atribucional; simplificada	P&D&I-Educação	Berço-ao- tumulo	Lâmpadas; Residencial	Comparação de Lm/W para iluminação de um ambiente (usa Dialux para projeto)	Não	Não especificada (global)
2	Artigo em periódico	Apisitpuvakul et al., 2008	process-LCA atribucional detalhada	P&D&I-Educação	Porta-ao- tumulo	Lâmpadas; Comercial	Lampada fluorescente tubular de 36 Watts, 200 g e 13.600 h para vida média	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Tailândia
3	Artigo em periódico	Asari, Fukui e Akai, 2008	EIO-LCA Consequencial Simplificada	Gestão publica	Berço-ao- tumulo	Lâmpadas; Residencial comercial	Kg Hg/ano gerados em Kyoto	Não	Kyoto/Japão
4	Artigo em periódico	Boubekri, 2012	LCC Consequencial Simplificada	Gestão publica	porta-a-porta	Lâmpadas; Residencial comercial	775 luminárias com 2 lâmpadas F40T12 ao custo de \$44.00/h	Não	Illinois/EUA
5	Artigo em periódico	Casamayor e Su 2011	process-LCA atribucional simplificada	projeto de produto ou processo	berço-a-porta	Luminária; Residencial comercial	Lumens/hora durante 5 anos	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Europa/Espanha
6	Relatório publico	Chen, Pan e Renison, 2009	Process-LCA comparativa (usa dados de outras publicações) Atribucional conceitual	P&D&I-Educação	berço-ao- tumulo	Lâmpada; comercial	Parâmetros de uma lâmpada incandescente	Não	Canadá/Vancouver
7	Relatório publico	CIRAIG, 2008	Process-LCA comparativa Consequencial detalhada	gestão publica	berço-ao- tumulo	Lâmpadas; Residencial comercial	Numero de lampadas requeridas para fornecer de 500 a 900 lumens durante 10.000 horas	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Canadá/Quebec

continua

Continuação do Quadro 14.

#	Tipo de Documento	AUTORIA, ano	Tipo de ACV	Objetivo	Escopo	Produto e Área de Aplicação	Unidade Funcional	Segue ISO 14044?	Região para Escopo
8	Outros	Colon, 2010	EIO-LCA e LCC atribucional simplificada	gestão publica	berço-ao-tumulo	Luminárias Pública	Investimento, manutenção e uso de energia nas 56 bases da força aérea americana no mundo por 20 anos	Não	EUA
9	Relatório publico	CREE Inc., 2009	Process-LCA comparativa atribucional simplificada	marketing de empresas	porta-a-porta (fase de uso)	Lâmpadas; Residencial comercial e	Desempenhos equivalentes em termos de lumens/W pelo tempo de 50.000 horas	Não	Não especificada (global)
10	Artigo em periódico	Dale, 2012	hibrid-LCA consequencial conceitual	gestão publica	berço-ao-tumulo	Luminárias Pública	100.000 h de uso	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA/Pittsburgh
11	Relatório publico	U.S. Department of Energy, 2012a	Process-LCA comparativa atribucional detalhada	gestão publica	Porta-a-porta (manufatura, transporte e uso)	Lâmpadas; Residencial comercial e	20.000.000 lm.h	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA
12	Relatório publico	U.S. Department of Energy, 2012b	Process-LCA atribucional detalhada	gestão publica	Porta-a-porta (manufatura)	Lâmpadas; Residencial comercial e	20.000.000 lm.h	Sim	EUA
13	Anais de eventos	Dubberley, Agogino e Horvath, 2004	Process-LCA atribucional detalhada	projeto de produto ou processo	berço-ao-tumulo	Luminária; comercial	Iluminação de um edifício comercial de 5.000 m ² por um ano por sistema inteligente	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA (matriz energética americana)
14	Anais de eventos	Durlinger, Reinders e Toxopeus, 2010	process-LCA atribucional conceitual	P&D&I-Educação	porta-a-porta	Luminária (sistema autônomo); residencial	"o fornecimento de 100 lumens, durante 3 horas por dia, ao longo de um período de 1 ano	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Camboja, Asia
15	Anais de eventos	Eckelman, 2009	hibrid-LCA; atribucional; simplificada	projeto de produto ou processo	berço-a-porta	Lâmpada; Residencial, comercial	Uso de energia para fabricação e uso de lampadas a LED (UF não especificada)	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA
16	Relatório publico	Garrett e Collins, 2009	Process-LCA atribucional detalhada	gestão publica	berço-ao-tumulo	Luminária; Residencial, comercial e publico	Desempenho típico de cada lâmpada durante 100.000 horas	Sim	Nova Zelândia

continua

Continuação do Quadro 14.

#	Tipo de Documento	AUTORIA, ano	Tipo de ACV	Objetivo	Escopo	Produto e Área de Aplicação	Unidade Funcional	Segue ISO 14044?	Região para Escopo
17	Relatório publico	Gydesen e Maimann 1991	Process-LCA atribucional detalhada	P&D&I-Educação	berço-ao-tumulo	Lâmpada; Residencial, comercial	1M de lumens.hora	Não	Dinamarca
18	Relatório publico	Hartley, Jurgens e Zatzoff 2009	Process-LCA comparativa atribucional detalhada	gestão publica	berço-ao-tumulo	Luminária; publica	Desempenho de 40.000 luminárias a LVSAP 150W durante 100.000 horas	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Pittsburgh, PA, EUA
19	Artigo em periódico	Hendrickson et al., 2010	process-LCA atribucional; simplificada	projeto de produto ou processo	porta-ao-tumulo	Lâmpada; Residencial, comercial	Análise de três tipos de lâmpadas a LED comerciais (UF não especificada)	Não	Não especificada (global)
20	Artigo em periódico	Kortman, Van Kampen e Verhoef 1997	process-LCA; atribucional; simplificada	gestão publica	berço-ao-tumulo	Luminária; publica	Desempenho de sistema convencional	Não	Holanda
21	Artigo em periódico	Krishnan et al., 2008	hibrid-LCA; atribucional; detalhada	P&D&I-Educação	porta-a-porta (fabricação)	Lampada (semicondutor); Residencial comercial e	Fabricação de um wafer de silicone de 300 mm de diâmetro	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA
22	Artigo em periódico	Lam e Chan, 2011	LCC; Atribucional; simplificada	P&D&I-Educação	porta-a-porta (uso e retrofitting)	Lâmpada; comercial	Uso de lâmpadas compactas de 13W e 20W dueante 10.000 horas	Não	Hong Kong, China
23	anais de eventos	Landis, Bilec e Rajagopalan, 2009	process-LCA; atribucional; simplificada	P&D&I-Educação	berço-a-porta (exclui descarte)	Lâmpada; comercial	Consumo em kWh de 10.000 lampadas incandescentes de 60W durante 1.000 horas	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA
24	Artigo em periódico	Lim et al., 2011	process-LCA; atribucional; detalhada	P&D&I-Educação	berço-a-porta (extração e fabricação)	Lâmpada; Comercial residencial e	Uma unidade de led	Não	EUA
25	Artigo em periódico	Lim et al., 2012	process-LCA; atribucional; detalhada	gestão publica	berço-a-porta (extração e fabricação)	Lâmpada; Comercial residencial e	50.000 h de uso	Não	EUA
26	Artigo em periódico	Mahlia Razak Nursahida, 2011	LCC; Atribucional; detalhada	Gestão publica	porta-a-porta (uso e manutenção, retrofitting)	Lâmpada; Comercial	Desempenho de lampadas convencionais	Não	Kuala Lumpur, Malasia

continua

Continuação do Quadro 14.

#	Tipo de Documento	AUTORIA, ano	Tipo de ACV	Objetivo	Escopo	Produto e Área de Aplicação	Unidade Funcional	Segue ISO 14044?	Região para Escopo
27	anais de eventos	Matthews et al., 2009	process-LCA; atribucional; simplificada	P&D&I-Educação	Porta-a-porta (fabricação)	Lâmpada; Comercial residencial e	Energia gasta por LED fabricado	Não	EUA
28	anais de eventos	Menet, 2012	process-LCA; atribucional; simplificada	P&D&I-Educação	berço-ao-tumulo	Luminária; publica	iluminação durante 25 anos, com luminaria a LED com cerca de 2500 lumens	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	França
29	Relatório publico	Navigant Consulting Europe, 2009	process-LCA; atribucional; detalhada	gestão publica	berço-ao-tumulo	Lampada s; residencial	100 lm/W e qualidade entre 2.500 e 4.000K para CCT, serviço durante 2.200 h/ano ou 1 M lm.h	Sim	Inglaterra
30	anais de eventos	Neri et al. 2001	process-LCA; atribucional; detalhada	projeto de produto ou processo	berço-ao-tumulo	Luminária; emergência	Emissão da lâmpada de 350 lm, durante 10 anos	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Itália
31	Relatório publico	Olivetti, Duan e Kirchain, 2012	process-LCA; atribucional; detalhada	gestão publica	berço-ao-tumulo	Lâmpadas; Residencial comercial e	Equivalente a uma lâmpada incandescente durante 40.000 h	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	EUA
32	Relatório publico	Osram Opto Semiconductors Gmbh, 2009	process-LCA; atribucional; simplificada	marketing de empresas	berço-ao-tumulo	Lâmpadas; Residencial comercial e	Fornecimento de 345 a 420 lm durante 25.000 horas, tecnologias com TCC entre 2.700 e 3.000K e IRC ≥ 80	Sim	Europa, Alemanha, Malasia e China
33	Artigo em periódico	Parsons, 2006	process-LCA; atribucional; simplificada	P&D&I-Educação	Porta-a-porta (fabricação, transporte e uso)	Lâmpadas; Residencial comercial e	Desempenho de uma LFC de 18W durante 8.000 horas	Não	Queensland, Australia
34	Artigo em periódico	Pfeifer, 1996	process-LCA; atribucional; conceitual	P&D&I-Educação	Porta-a-porta (fabricação e uso)	Lâmpadas; Residencial comercial e	1 Milhão de lumens.horas	Não	Alemanha
35	Relatório publico	Quirk, 2009	process-LCA; atribucional; conceitual	gestão publica	berço-ao-tumulo	Lâmpadas; Residencial comercial e	1 Milhão de lumens.horas	Não	EUA, China
36	Relatório publico	Ramroth, 2008	process-LCA; atribucional; detalhada	P&D&I-Educação	berço-ao-tumulo	Lâmpadas Residencial comercial e	Serviço de fornecimento de 1.600 lumens durante 10.000 horas	Sim	Importação da China com uso e descarte nos EUA

continua

Continuação do Quadro 14.

#	Tipo de Documento	AUTORIA, ano	Tipo de ACV	Objetivo	Escopo	Produto e Área de Aplicação	Unidade Funcional	Segue ISO 14044?	Região para Escopo
37	Relatório público	Slocum, 2005	process-LCA; atribucional; conceitual	gestão pública	berço-ao-tumulo	Lâmpada Residencial comercial e	1 Milhão de lumens.horas	Não	EUA
38	Relatório público	Soneji, 2008	EIO-LCA Atribucional; simplificada	projeto de produto ou processo	Porta-a-porta (fabricação e uso)	Lâmpada; Residencial comercial e	1 Milhão de dólares norte-americanos de atividade econômica em e preços ao produtor em 1997	Não	EUA
39	Artigo em periódico	Tähkämö, 2012a	process-LCA; atribucional; detalhada	P&D&I-Educação	berço-ao-tumulo	Luminaria Residencial comercial e	Uso de uma luminária por 50.000 horas	Sim	França, Europa
40	Artigo em periódico	Tähkämö, 2012b	process-LCA; atribucional; simplificada	P&D&I-Educação (review)	berço-ao-tumulo	lâmpadas Residencial, comercial	Não aplicável (review)	Não	Não especificada (global)
41	Artigo em periódico	Tähkämö, 2015	LCC; Consequencial detalhada	P&D&I-Educação	Porta-a-porta (fabricação e utilização, retrofitting)	Luminária; pública	1 km de vias iluminadas	Não	Finlândia
42	Artigo em periódico	Techato, Watts e Chaiprapat, 2009	process-LCA; atribucional; detalhada	gestão pública	Porta-ao-tumulo (retrofitting e descarte)	Lâmpada; comercial	Substituição de lâmpadas fluorescentes de 40W por lâmpadas de 36W	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Tailândia
43	Relatório público	Vito, 2007a	process-LCA; atribucional; simplificada	gestão pública	berço-ao-tumulo	Luminaria; público	Fluxo luminoso previsto na norma <i>EN13201-2</i>	Sim	Europa
44	Relatório público	Vito, 2007b	process-LCA; atribucional; simplificada	gestão pública	berço-ao-tumulo	Luminaria; comercial	Fluxo luminoso previsto na norma <i>EN12464-1</i>	Sim	Europa
45	Relatório público	Vito, 2009	process-LCA; atribucional; simplificada	gestão pública	berço-ao-tumulo	Luminaria; residencial	1 lumem produzido por uma hora de operação	Sim	Europa
46	Artigo em periódico	Waki, 1999	process-LCA; atribucional; simplificada	projeto de produto ou processo	berço-ao-tumulo	Luminaria Residencial comercial e	?	Sim	Japão
47	Artigo em periódico	Welz, Hischier e Hilty, 2011	process-LCA; consequencial; detalhada	P&D&I-Educação	berço-ao-tumulo	Lâmpadas; residencial	Serviço de iluminação por uma hora, nas potências específicas de cada lâmpada	Sim (exclusive pela validação de terceiros)	Suíça (Europa)

continua

Continuação do Quadro 14.

#	Tipo de Documento	AUTORIA, ano	Tipo de ACV	Objetivo	Escopo	Produto e Área de Aplicação	Unidade Funcional	Segue ISO 14044?	Região para Escopo
48	Outros	Chan, 2012	process-LCA atribucional simplificada	P&D&I-Educação	Berço-ao-tumulo	Lâmpadas Público	Lâmpada vapor de sódio 150W durante 300.000 h	Não	Hong Kong (Asia)
49	Outros	Sanchez Junior, 2010	process-LCA atribucional detalhada	P&D&I-Educação	Berço-ao-tumulo	Luminárias Público	Iluminação com 14 lux de uma via de 500m, 12h/dia, 20 anos.	Sim	Brasil (America do Sul)
50	Outros	Ribeiro, 2010	process-LCA atribucional conceitual	P&D&I-Educação	porta-ao-tumulo	Lâmpadas Comercial residencial e	345 a 420 lumens durante 25.000h	Não	Brasil (America do Sul)
51	Artigo em periódico	Simões, Pinto e Bernardo, 2012	LCC atribucional simplificada	P&D&I-Educação	Berço-ao-tumulo	Luminárias Público	Critérios da norma EM 40-2 para IP por 30 anos	Sim	Portugal (Europa)
52	Outros	Flory IV, 2008	LCC Consequencial simplificada	P&D&I-Educação	Berço-ao-tumulo	Luminárias Industrial	Iluminação de um galpão de 50x100m por 2 anos 24h/dia com lâmpadas HID, 0.07\$/kWh	Não	Virginia (EUA)
53	Outros	Kumar, Kumar, e Kumar, 2011	LCC Consequencial Simplificada	P&D&I-Educação	Porta-a-porta (fabricação e utilização, retrofitting)	Lâmpadas Comercial residencial e	Iluminação por um ano, 10 h/dia, 1000lm/lampada, 5 rupias indianas/kWh	Não	India (Asia)
54	Artigo em periódico	Onaygil, Güler e Erkin, 2012	LCC Consequencial Simplificada	P&D&I-Educação	Berço-a-porta	Luminárias Público	Iluminação de 1km por 8 e 13 anos com qualidade de luminárias categoria M3, 10h/dia 0,10 €/kWh	Não	Istambul (Turquia)

Quadro 14 – Levantamento dos Trabalhos de ACV em Iluminação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE C - O caso da PPP de São Paulo.¹⁶

Com o maior parque de iluminação pública da América Latina, São Paulo tem 52 % de seus cerca de 560 mil pontos de luz com lâmpadas Vapor de Sódio. O segundo maior parque é composto pela lâmpada a Vapor Mercúrio, cuja aplicação ainda é de 47% com tendência a perder espaço para a primeira tecnologia. Segundo dados da prefeitura de dezembro de 2011, cerca de 1% se dividem entre o LED e a de Vapor Metálico, as quais são utilizadas apenas em projetos especiais. O parque de iluminação da cidade é obsoleto, tem mais de 40 anos e representa um custo de cerca de R\$ 300 milhões por ano. Para minimizar os custos deste serviço e melhorar a qualidade da iluminação para os cidadãos, a PMSP iniciou um processo de contratação de uma Parceria Público Privada – PPP no final de 2013 que está em sua fase final. A empresa que ganhar a licitação ficará com a arrecadação da Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (Cosip), estimada em R\$ 271 milhões (valores de 2013). Esse valor é pago pelo contribuinte na conta de luz – R\$ 4,44 por residência e R\$ 13,99 para imóveis não-residenciais. (ILUME, 2014). A seguir são relatadas as principais fases deste processo, que até o momento ainda não acabou.

Chamamento Público

A Secretaria Municipal de Serviços (SMS), da Prefeitura Municipal de São Paulo (2013a), publicou um Chamamento Público, de nº 01/SES/2013 - Processo nº 2013-0.270.788-0, em 2013, destinado a apresentação, por eventuais interessados da iniciativa privada, de estudos técnicos e modelagem de projetos de Parceria Público-Privada (PPP) para Modernização, Otimização, Expansão, Operação e Manutenção da Infraestrutura da Rede de Iluminação Pública do Município de São Paulo, de acordo com as exigências estabelecidas, aplicando-se as regras dispostas no Decreto Municipal nº 51.397, de 2010, Lei Municipal nº14.517, de 2007, e das demais Leis Municipais e Federais de regência e estabeleceu como prazo final para apresentação de propostas o dia 31/10/2013. O Chamamento previa uma fase de pré-habilitação de empresas e consórcios para apresentação de soluções. Foram pré-habilitados 34 empresas e/ou consórcios. Ao final, observou-se a apresentação de apenas 11 empresas e/ou consórcios.

¹⁶ São Paulo foi escolhida por estar vivenciando uma situação em que se beneficiaria muito do resultado desta pesquisa. No entanto, além de ser a maior do Brasil, da América Latina e do Hemisfério Sul, devido às atuais circunstâncias, sua prefeitura disponibilizou os dados necessários para o estudo de caso, algo absolutamente necessário para testar o protocolo desenvolvido. Se qualquer outra cidade disponibilizasse estes dados (tal como SP fez, com planilhas de custos e investimentos e inventários das instalações atuais) ela também seria beneficiária desta análise. É o que se espera deste trabalho.

Os documentos do processo (esclarecimentos solicitados, atas e comunicados, orientações para manifestação de interesse e regulamentação específicas estão disponíveis no site da prefeitura).

Consulta Pública

Na sequência, a PMSP publicou uma comunicação aos interessados que, em atendimento ao disposto no artigo 10 da Lei Federal nº 11.079, de 2004, e no artigo 20 da Lei Municipal nº 14.517, de 2007, encontrava-se aberta uma Consulta Pública destinada a colher manifestações sobre a minuta de edital e de contrato de concorrência internacional e respectivos anexos para a contratação de Parceria Público-Privada (PPP), sob a modalidade de Concessão Administrativa, para a prestação dos serviços de modernização, otimização, expansão, operação, manutenção e controle remoto e em tempo real da infraestrutura da rede municipal de iluminação pública do município de São Paulo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2013d). O prazo de vigência do contrato está previsto em 24 (vinte e quatro) anos (depois reduzido para 20 anos) e o seu valor estimado é R\$ 7.320.000.000,00. A administração municipal acredita que a implantação de um novo modelo de gestão, atrelado a indicadores de desempenho e a sistemas inteligentes de monitoramento em tempo real, assim como a modernização e efficientização de toda a infraestrutura da Rede Municipal de Iluminação Pública permitirão à cidade de São Paulo, no prazo máximo de cinco anos, prover maior nível de luminosidade aos pedestres, bicicletas e veículos automotores, além de melhorar a percepção de segurança e a qualidade do serviço público de iluminação prestado ao munícipe paulistano, com significativa redução do consumo de energia elétrica. Os documentos do processo (proposta de edital e anexos, minuta de contrato proposto, esclarecimentos solicitados, atas e comunicados, orientações para manifestação de interesse e regulamentação específicas estão disponíveis no site da prefeitura). Tanto o edital como a minuta de contrato proposto levou em consideração as sugestões colhidas na fase do Chamamento Público, com origem nas 11 propostas colhidas na ocasião.

Licitação Pública

Continuando o processo e considerando as sugestões surgidas na Consulta Pública, em 2015 a PMSP comunicou aos interessados que se encontrava aberta, a licitação na modalidade de Concorrência Internacional Nº 01/SES/2015 - Processo administrativo nº 2015-0.097.424-9 - do tipo menor valor da contraprestação mensal máxima a ser paga pelo poder concedente, promovida para a celebração de Parceria Público-Privada (PPP) destinada à celebração de Concessão Administrativa para a prestação de serviços de modernização, otimização, expansão, operação, manutenção e controle remoto e em tempo real da infraestrutura da rede de iluminação pública do município de São Paulo. prazo da Concessão Administrativa: 20 anos

prorrogáveis na forma da lei e deste edital. Valor estimativo contratual: R\$ 7.332.000.000,00 (sete bilhões, trezentos e trinta e dois milhões de reais) (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2015).

Questionamentos da PPP

Em que pese a transparência do processo, como era de se esperar, pelo tamanho do negócio e pelo seu impacto tanto na economia local e internacional como nas cadeias produtivas de materiais e equipamentos associadas ao serviço, o edital gerou muitos questionamentos de muitas partes envolvidas, inclusive de vereadores da Câmara Paulista. Os questionamentos foram parar no Tribunal de Contas do Município, que gerou um Despacho do Exmo. Sr. Conselheiro João Antonio TC nº 72.002.036.15-60 (TRIBUNAL DE CONTAS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2015). As respostas da PMSP aos pontos a seguir são, neste momento, o empecilho para realização deste empreendimento.

- a) *Não restaram justificados tecnicamente o Valor Estimado do Contrato, a redução do Prazo da Concessão de 24 (vinte e quatro) para 20 (vinte) anos e a elevação do valor da Contraprestação Mensal Máxima de R\$ 25.416.667,00 para R\$ 30.550.000,00, todos alterados em relação às disposições constantes da Minuta de Edital publicada em outubro/2014, que serviu de base para a Consulta Pública e para as Audiências Públicas realizadas.*
- b) *Houve desatendimento ao disposto no § 4º, do art. 10º, da Lei Federal nº 11.079/04 em face da não apresentação dos estudos de engenharia para a definição do valor dos investimentos da PPP (BRASIL, 2004).*
- c) *Não foram apresentados estudos que demonstrem as composições dos custos/despesas referentes a Operação e Manutenção da Rede, CCO/Service Desk, Telegestão, Pessoal Administrativo, Despesas com Software e Outras Despesas Operacionais na elaboração do Plano de Negócios de Referência (PNR).*
- d) *É imprescindível tornar obrigatória a contratação do Verificador Independente antes da emissão da Ordem de Início dos Serviços e sua permanência durante todo o período da Concessão no sentido de se evitar que a Concessionária venha a aferir seu próprio desempenho.*
- e) *Não está prevista no Edital a adoção do Livro de Ordem, importante mecanismo de controle e de fiscalização da execução contratual, desatendendo à Resolução nº 1.024 do Confea, de 21.10.2009, e o Ato Normativo nº 06 do Crea-SP, de 28.05.2012.*
- f) *Não está autorizado em Lei o procedimento de negociação das Receitas Complementares, Acessórias ou de Projetos Associados entre o CGP e a*

Concessionária, nem regulamentado com parâmetros legais objetivos, o que fere os Princípios Constitucionais da Legalidade, da Publicidade e da Impessoalidade presentes no artigo 37 da Constituição Federal. Ademais, o Edital deve merecer adequação, com a definição de um critério objetivo e transparente para que se possa estabelecer o compartilhamento dessas receitas (BRASIL, 2015d).

- g) *Merecem análise jurídica própria as disposições do Edital que definem as contradições relativas à revisão da proporção do compartilhamento das "RECEITAS COMPLEMENTARES, ACESSÓRIAS OU DE PROJETOS ASSOCIADOS" na recomposição do equilíbrio econômico-financeiro, e às atividades a serem desenvolvidas pela SPE que possibilitarão a obtenção de receitas, lucros e ou prejuízos na exploração dessas mesmas "RECEITAS".*
- h) *Restou indefinida a data limite para a constituição do Comitê Técnico, apresentada na subcláusula 35.1 da Minuta de Contrato, em relação à data de emissão da Ordem de Início dos Serviços (subitem 3.4.6).*
- i) *A fórmula de cálculo da CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA, devido em especial aos pesos considerados para o FDI (0,90) e o FDE (0,10), não está atendendo ao propósito e ao foco previstos no Chamamento Público de onde se originou o presente Edital de Licitação. Não foi encontrado nos autos do PA que trata da presente Concorrência estudo ou proposta que justificasse a ponderação adotada.*
- j) *Há a necessidade da adequação das disposições constantes do subitem 5.7 do Anexo IV da Minuta de Contrato, com a supressão da frase "devendo ocorrer sempre a cada mês de julho.", em face do disposto no artigo 3º, da Lei Federal nº 10.192/01, e da possibilidade da postergação da data de abertura das propostas.*
- k) *Faz-se necessária a apresentação de justificativa com relação à adoção do mecanismo de reajuste contratual da Contraprestação Mensal Máxima a ser paga pelo Poder Concedente à Concessionária.*
- l) *A ausência dos elementos essenciais citados neste Relatório não permite uma avaliação real da economicidade potencial a ser obtida em um projeto dessa magnitude, envolvendo um horizonte de 20 anos e uma despesa total prevista de mais de R\$ 7 bilhões.*

Analisando as questões do TCM, observa-se que uma ferramenta analítica, como a que se propõe no presente trabalho, poderia dar suporte (ainda que parcialmente) às respostas da PMSP para os itens a), c), f), g), i), k) e l).

Estes questionamentos foram devidamente respondidos pela PMSP, utilizando-se uma abordagem focada exclusivamente no modelo econômico para justificar a iniciativa e foram analisados pelo TCM, que autorizou sua republicação com algumas sugestões. O edital foi republicado no dia 13/11/2015 e tem a data de 14/01/2016 marcada para entrega de propostas.

APÊNDICE D - Inventários para o aspecto ambiental emissões de GEE.¹⁷

Existem diferentes tipos de ferramentas para a realização de ACVs, importante ferramenta de suporte para determinação da ecoeficiência. Necessariamente, a realização de ACVs demanda a realização de inventários de aspectos ambientais envolvidos em cada fase do ciclo de vida de um produto, instalação ou serviço. Há desde listas de verificação, softwares de simulação de processos, até bases de dados extensivas de materiais e processos. A decisão sobre o uso de cada ferramenta depende do objetivo que se quer alcançar com o desenvolvimento do produto ou serviço, dos recursos disponíveis para as tarefas pretendidas e da disponibilidade das ferramentas. Em particular, há várias técnicas possíveis para a elaboração de inventários neste setor, fase fundamental para aplicação da técnica de ACV. As técnicas baseadas em análise de processos podem ser realizadas utilizando-se sua representação com fluxogramas ou matrizes. No Brasil, as fontes de informações quantitativas a serem utilizadas acabam sendo principalmente secundárias (trabalhos publicados e levantamentos já realizados), uma vez que dificilmente uma empresa do setor produtivo revela informações detalhadas para inventário de seu processo produtivo e não há base de dados públicos para os processos industriais brasileiros. Outra fonte de informação quantitativa é a inspeção de produtos utilizados em cada tipo de aplicação para iluminação (neste caso, fonte primária) e entrevistas com especialistas sobre os processos que compõem a cadeia produtiva.

Para o tratamento de dados, há uma série de ferramentas disponíveis que podem auxiliar nas ACVs, a saber:

- eVerDEE (ferramenta on-line de avaliação de ciclo de vida para pequenas e médias empresas europeias);
- CPM LCA Database (ferramenta online da Chalmers University para organizar e gerir projetos de ACV);
- SimaPro: ferramenta comercial de ACV que permite recolher, analisar e monitorizar o desempenho ambiental de produtos e serviços;
- Umberto: ferramenta comercial de ACV, permite modelar, calcular e visualizar materiais e sistemas de fluxo de energia;
- GaBi: software comercial para efetuar balanços de ciclo de vida (Fraunhofer IZM, 2005).

¹⁷ Aspectos ambientais são entendidos aqui como elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente, causando ou podendo causar impactos ambientais, positivos ou negativos. Impactos ambientais são quaisquer modificações do meio ambiente, positiva ou negativa, resultante ou não dos aspectos ambientais da organização.

- GHG Protocol: protocolo para inventário de emissões de gases de efeito estufa em atividades de empresas e sua publicação dentro de normas reconhecidas pelo mercado de créditos de carbono.

No planejamento energético de governos e gestores públicos é comum observar-se apenas o impacto associado às emissões de CO₂ por atividade e não necessariamente uma análise completa de todos os impactos ambientais associados a todos os aspectos inventariados junto a cada fase do ciclo de vida do sistema estudado. Pelo fato de estar se tratando de uma mudança climática global, é comum se utilizar um aspecto que traduza quantitativamente os efeitos de toda uma cadeia de processos associados além dos efeitos associados a outros aspectos mas que podem ter sua equivalência ponderada para um único aspecto em termos dos impactos produzidos. Um exemplo do uso de um único aspecto (emissões de CO₂ per Capta, também chamada de pegada de carbono) para comparar cidades e países, elemento de suporte à elaboração de políticas públicas pode ser visto a seguir. A **Figura 28** a seguir representa a situação para o planejamento da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo para 2035.

Figura 28 – Emissões de CO₂ per Capta por PIB per Capta – Comparativo São Paulo, Brasil e demais países (137, Base:2008).

Fonte: Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, 2011.

Na **Figura 28**, o PIB e a Oferta Interna Bruta são calculados com padronização entre países considerados e São Paulo e Brasil. O cálculo de emissões deve ser considerado indicativo visto que os procedimentos de cálculo por meio do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate

Change) são diferentes (SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011). Neste exercício, observa-se que a tendência de São Paulo é de uma taxa de evolução de emissão per Capta menor que a evolução esperada para o Brasil. Esta taxa poderá ser afetada por alguma política pública, por exemplo, no setor de transporte ou setor de energia? Esta questão poderia ser estudada sob a ótica das emissões de CO₂ associadas com estas atividades, numa série histórica.

Dentre as mudanças climáticas, o aumento da temperatura média na superfície terrestre é uma das mais estudadas e utilizadas como objeto de acordos internacionais, suscitando compromissos nacionais de emissões de Gases de Efeito Estufa. De acordo com o IPCC, o aquecimento global superior a 2° C teria consequências graves, tais como um aumento do número de eventos climáticos extremos. Em Copenhague, em 2009, os países declararam sua determinação de limitar o aquecimento global a 2° C entre hoje e 2100. Para alcançar este objetivo, especialistas em clima estimam que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) precisam ser reduzidas em 40-70% até 2050 e que a neutralidade de carbono (emissões zero) deve ser alcançada até o final do século, o mais tardar (COP21, 2015). A hipótese referente ao efeito-estufa diz que o aumento da concentração na atmosfera de gases refletores de ondas longas (que absorvem as radiações infravermelhas) provoca o aquecimento global. Assim, tendo em vista que a emissão de CO₂ para a atmosfera encontra-se entre os principais absorvedores de ondas longas, a emissão de CO₂ tornou-se uma das principais variáveis dependentes de modelos empíricos que pretendem subsidiar políticas de mitigação de mudanças climáticas (MOLION, 2008a; MOLION, 2008b; TYNDALL, 1859; TYNDALL, 1861; WOOD, 1909; CALLENDAR, 1938).

Como se procurou identificar um único indicador para o desempenho ambiental, esta escolha recaiu sobre as emissões de CO₂ equivalentes por se tratar do indicador mais utilizado nas publicações sobre medição da ecoeficiência (BELLEN, 2005). Então o problema se resumiu na escolha de uma ferramenta que pudesse ser utilizada adequadamente para medir este indicador. A ferramenta de tratamento de dados utilizada neste estudo foi o GHG Protocol, devido à facilidade de sua obtenção para aqueles que queiram reproduzir o estudo presente para outra situação semelhante (PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2004).

O GHG Protocol internacional trabalha também para propor padrões e ferramentas de avaliação que ajudam a mensurar emissões, construir estratégias efetivas de redução de emissões, estabelecer metas mensuráveis e ambiciosas, e acompanhar seu desempenho de forma rigorosa

e completa. O WRI, o Grupo C40 de Grandes Cidades para a Liderança Climática e o ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, estabeleceram uma parceria para criar o Padrão GHG Protocol para Cidades que é conhecido como Protocolo Global para Emissões de GEE na Escala da Comunidade (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2014). O protocolo remete ao uso de um roteiro e uma ferramenta específica para cálculo de emissões que foi adaptada pelo GHG Protocol Brasil. A vantagem desta ferramenta adaptada é que ela está disponível gratuitamente, é atualizada e faz os cálculos para as emissões da matriz elétrica brasileira. Esta ferramenta é descrita em mais detalhes a seguir.

O GHG Protocol é o método mais utilizado para a realização de inventários de gases de efeito estufa (GEE). O método é compatível com as normas ISO e com os métodos de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). A aplicação no Brasil acontece de modo adaptado ao contexto nacional. São diferenciais do programa Brasileiro GHG Protocol:

- Contabilização, cálculo, elaboração e publicação de relatório de GEE em base voluntária;
- Capacitação de empresas e organizações;
- Plataforma online para divulgação pública dos inventários;
- Espaço de intercâmbio de informações entre instituições públicas e privadas e modelos de gestão;

No último ano (2014) a participação de empresas brasileiras na publicação de seus inventários refletiram o engajamento crescente no esforço de mensurar, relatar e verificar as emissões de gases do efeito estufa (GEE). Neste ciclo, 313 inventários foram publicados por 133 organizações membro, entre empresas, instituições financeiras, instituições de ensino e poder público. Como forma de ajudar a delinear as fontes de emissão direta e indireta, melhorar a transparência e ser útil a diferentes tipos de organizações, diferentes tipos de políticas relacionadas à mudança do clima e a objetivos de negócios, são definidos três “escopos” (Escopo 1, Escopo 2 e Escopo 3), para fins de contabilização e elaboração do inventário de GEE. Os Escopos 1 e 2 são cuidadosamente definidos, para assegurar que duas ou mais organizações não registrem as mesmas emissões sob o mesmo escopo. Isso permite que os escopos sejam compatíveis para utilização nos programas em que o registro duplo tem importância. A seguir são relatadas as constituições destes escopos (PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2004).

Escopo 1: Emissões diretas de GEE

Emissões diretas de GEE são as provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização, como, por exemplo, as emissões de combustão em caldeiras, fornos, veículos da empresa ou por ela controlados, emissões da produção de químicos em equipamentos de processos que pertencem ou são controlados pela organização, emissões de sistemas de ar condicionado e refrigeração, entre outros.

As emissões diretas de CO₂ resultantes da combustão de biomassa não deverão ser incluídas no Escopo 1, mas, sim, comunicadas separadamente. As emissões de GEE e gases precursores destes que não estejam cobertas pelo Protocolo de Kyoto, como, por exemplo, CFCs, HCFCs, NO_x etc., não deverão ser incluídas no Escopo 1, mas podem ser comunicadas em separado. Emissões do Escopo 1 devem ser subdivididas nas cinco categorias:

- Combustão estacionária para geração de eletricidade, vapor, calor ou energia com o uso de equipamento (caldeiras, fornos, queimadores, turbinas, aquecedores, incineradores, motores, fachos etc.) em um local fixo;
- Combustão móvel para transportes em geral (frota operacional da empresa) e veículos fora de estrada, tais como os usados em construção, agricultura e florestas;
- Emissões de processos físicos e químicos: emissões, que não sejam de combustão, resultantes de processos físicos ou químicos, tais como as emissões de CO₂ da calcinação na fabricação de cimento, as emissões de CO₂ da quebra catalítica no processamento petroquímico, as emissões de perfluorocarbonetos (PFC) da fundição do alumínio etc.
- Emissões fugitivas: (i) liberações da produção, processamento, transmissão, armazenagem e uso de combustíveis e (ii) liberações não intencionais de substâncias que não passem por chaminés, drenos, tubos de escape ou outra abertura funcionalmente equivalente, tais como liberação de hexafluoreto de enxofre (SF₆) em equipamentos elétricos, vazamento de hidrofluorcarbonos (HFCs) durante o uso de equipamento de refrigeração e ar condicionado e vazamento de metano (CH₄) no transporte de gás natural;
- Emissões agrícolas: (i) fermentação entérica (CH₄); (ii) manejo de esterco (CH₄, N₂O); (iii) cultivo do arroz irrigado (CH₄); (iv) preparo do solo (CO₂, CH₄, N₂O); (v) queima prescrita da vegetação nativa (CH₄, N₂O); (vi) queima dos resíduos agrícolas (CH₄, N₂O).

Escopo 2: Emissões indiretas de GEE de energia

O Escopo 2 contabiliza as emissões de GEE provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela empresa. A energia adquirida é definida como sendo aquela que é comprada ou então trazida para dentro dos limites organizacionais da empresa. No Escopo 2 as emissões ocorrem fisicamente no local onde a energia é produzida, quando a produção ocorre fora do limite organizacional.

As emissões de Escopo 2 constituem uma categoria especial de emissões indiretas. Para muitas organizações, a energia adquirida representa uma das principais fontes de emissões de GEE e a oportunidade mais significativa de reduzir tais emissões. Contabilizar emissões de Escopo 2 permite avaliar oportunidades e riscos associados à mudança nos custos da energia e das emissões de GEE. Outra razão importante para contabilização dessas emissões é que a informação pode ser obrigatória para alguns programas de gestão de GEE.

O uso de energia pode ser reduzido investindo-se em tecnologias e processos em prol da eficiência energética e da conservação de energia. Além disso, os mercados emergentes de “energia verde” oferecem oportunidades para algumas organizações migrarem para fontes de energia que sejam menos intensivas em termos de emissões de GEE. Também podem ser instalados geradores eficientes, em particular se eles substituem a compra de energia mais intensiva em GEE da rede ou da distribuidora. Relatar emissões de Escopo 2 permite a contabilização transparente de emissões e reduções de GEE relacionadas a tais oportunidades. Para emissões indiretas relacionadas à transmissão e à distribuição de energia, as companhias de energia elétrica frequentemente adquirem energia de geradores independentes ou da rede e a revendem para os consumidores finais através de um sistema de transmissão e distribuição (T&D). Parte da energia adquirida pelas companhias de energia elétrica é perdida (perda de T&D) durante sua transmissão e distribuição aos consumidores finais.

De acordo com a definição do Escopo 2, as emissões resultantes da geração de energia elétrica adquirida que é perdida durante a transmissão e a distribuição devem ser relatadas no Escopo 2 pela companhia que é proprietária ou controladora da operação de T&D. Os consumidores finais da energia adquirida não relatam emissões indiretas relacionadas a perdas de T&D no Escopo 2, porque não são nem proprietários nem controladores da operação de T&D na qual a energia é perdida (perda de T&D).

Essa abordagem garante que não haja dupla contabilização no Escopo 2, uma vez que somente a companhia de energia elétrica contabilizará no Escopo 2 as emissões indiretas relacionadas às perdas de T&D. Outra vantagem dessa abordagem é que ela simplifica o inventário de emissões de Escopo 2, por permitir o uso dos fatores de emissão que estão normalmente

disponíveis e que na maioria das vezes não incluem perdas de T&D. Os consumidores finais podem, porém, relatar suas emissões indiretas relacionadas a perdas de T&D no Escopo 3 sob a categoria “geração de energia consumida em sistemas de T&D”.

Escopo 3: Outras emissões indiretas de GEE

O Escopo 3 é uma categoria de relato opcional, que permite a consideração de todas as outras emissões indiretas. As emissões do Escopo 3 são uma consequência das atividades da empresa, mas ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa. Alguns exemplos de atividades de Escopo 3 são: a extração e produção de matérias-primas e outros materiais realizados por outra empresa, mas utilizados nos processos da empresa que está elaborando o inventário; o transporte de colaboradores da empresa em meios não controlados pela mesma; e as emissões relativas ao uso final de bens de consumo vendidos pela empresa inventariada, entre outras.

O relato de emissões de Escopo 3 é opcional, segundo as diretrizes do Programa Brasileiro GHG Protocol. Porém, o Programa recomenda fortemente o relato das emissões de Escopo 3, que contribuem significativamente para o total de emissões da empresa participante. O relato dessas emissões é particularmente importante nos seguintes casos:

- Extração e produção de materiais e combustíveis adquiridos
- Atividades relacionadas a transporte
- Transporte de materiais ou bens adquiridos
- Transportes de combustíveis adquiridos
- Viagens de negócios de empregados
- Transporte de empregados de ida e volta ao trabalho
- Transporte de produtos vendidos
- Transporte de resíduos
- Atividades relacionadas à energia não incluídas no Escopo 2 (ver o **ANEXO B**)
- Extração, produção e transporte de combustíveis consumidos na geração de energia (adquiridos ou gerados pela própria empresa que prepara o inventário)
- Aquisição de energia que é revendida para consumidores finais (relatada pela companhia de energia)
- Geração de energia que é perdida no sistema de T&D (relatada pelo consumidor final)
- Ativos arrendados, franquias e atividades terceirizadas – as emissões resultantes desses acordos contratuais somente são classificadas como Escopo 3 se a abordagem de

consolidação escolhida (participação acionária ou controle operacional) não se aplica a elas. Esclarecimentos sobre a classificação de ativos arrendados devem ser fornecidos pelo contador da empresa.

- Uso de produtos e serviços vendidos
- Descarte de resíduos
- Descarte dos resíduos gerados nas atividades
- Descarte dos resíduos gerados na produção de materiais e combustíveis adquiridos
- Descarte de produtos vendidos ao fim de sua vida útil

Os participantes do Programa Brasileiro GHG Protocol devem contabilizar e elaborar os Escopos 1, 2 e 3 separadamente.

Para a contabilização de emissões de Escopo 3 não precisa envolver uma análise completa do ciclo de vida de GEE de todos os produtos e operações. Normalmente, é útil concentrar-se em uma ou duas das maiores atividades geradoras de GEE. Embora seja difícil fornecer orientações gerais sobre quais emissões de Escopo 3 incluir em um inventário, alguns passos gerais podem ser articulados:

- Determinar a cadeia de suprimentos. Para garantir transparência, é necessário fornecer uma descrição geral da cadeia de suprimentos e das fontes de GEE correspondentes, porque o cálculo das emissões de Escopo 3 não requer uma análise completa do ciclo de vida. Para tanto, as categorias de Escopo 3 listadas acima podem ser usadas como uma lista de tarefas. As empresas normalmente têm de decidir quantos níveis acima e abaixo da cadeia incluir no Escopo 3. Considerações sobre os objetivos do inventário ou dos negócios da empresa e sobre a relevância das várias categorias guiarão essa escolha.
- Determinar quais categorias de Escopo 3 são relevantes. É possível que somente algumas categorias de emissões anteriores ou posteriores na cadeia sejam relevantes para a empresa. Elas podem ser relevantes por diversas razões:
 - O volume de emissões é grande (ou supostamente grande) relativamente às emissões de Escopos 1 e 2 da empresa;
 - As emissões contribuem para a exposição ao risco de GEE da empresa;
 - As emissões são consideradas críticas pelo público interessado relevante (por exemplo, opiniões de consumidores, fornecedores ou investidores, ou da sociedade civil);

- Existem potenciais reduções de emissões que poderiam ser realizadas ou influenciadas pela empresa. Os seguintes exemplos podem ajudar a decidir quais categorias de Escopo 3 são relevantes para a empresa.
- Se combustíveis fósseis ou energia elétrica são necessários para usar os produtos da empresa, as emissões na fase de uso de produtos podem ser uma categoria relevante a incluir no inventário. Isso pode ser especialmente importante se a empresa puder influenciar características do design dos produtos (por exemplo, eficiência energética) ou o comportamento do consumidor de forma a reduzir emissões de GEE durante o uso dos produtos.
- As atividades terceirizadas comumente são candidatas para análises de emissões do Escopo 3. Pode ser particularmente importante incluí-las quando uma atividade anteriormente terceirizada contribui significativamente para as emissões de Escopo 1 ou 2 da empresa.
- Se os materiais intensivos em GEE representam uma fração significativa do peso ou da composição de um produto usado ou produzido (por exemplo, cimento, alumínio), as empresas podem desejar examinar se há oportunidades para reduzir seu consumo do produto ou substituí-lo por materiais menos intensivos em GEE.
- As grandes empresas industriais podem ter emissões significativas relacionadas ao transporte de materiais adquiridos para unidades de produção centralizadas.
- As empresas de produtos primários e bens de consumo podem desejar contabilizar os GEE do transporte de matérias-primas, produtos e resíduos.
- As empresas do setor de serviços podem desejar relatar emissões de viagens de negócios de seus empregados; essa fonte de emissões tende a não ser tão significativa para outros tipos de empresas (por exemplo, indústrias).
- Identificar parceiros ao longo da cadeia de valor. Identificar parceiros que contribuam com volumes potencialmente significativos de GEE ao longo da cadeia de valor (por exemplo, consumidores/usuários, designers de produto/fabricantes, fornecedores de energia etc.). Isso é importante para tentar identificar fontes, obter dados relevantes e calcular emissões.
- Quantificar as emissões de Escopo 3. Enquanto a disponibilidade e a confiabilidade dos dados podem influenciar quais atividades de Escopo 3 são incluídas no inventário, é aceitável que a precisão dos dados seja menor. Pode ser mais importante entender a magnitude relativa das atividades de Escopo 3 e as mudanças possíveis nessas

atividades. Relatar estimativas de emissões é aceitável, desde que haja transparência com relação à abordagem de estimação e que os dados usados para a análise sejam adequados aos objetivos do inventário. A verificação das emissões de Escopo 3 normalmente é difícil e somente pode ser feita se os dados são de qualidade confiável.

APÊNDICE E - Planilha de Inventário da linha de base ou situação atual (Tabela 11).

Tabela 11 – Planilha de Inventário da linha de base ou situação atual.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	Vapor de Sódio-250	250	120.092	30.023	10.808.280	11.889.108	14,18	1.702.574	1,43E+02	17.195.999	1.285.443	534.608
2	Vapor de Mercúrio-400	400	72.179	28.872	10.393.776	11.433.154	22,68	1.637.279	229,1043386	16.536.522	1.236.146	514.106
3	Vapor de Sódio-100	100	120.385	12.039	4.333.860	4.767.246	5,67	682.691	57,27608466	6.895.181	515.432	214.365
4	Vapor de Sódio-400	400	21.621	8.648	3.113.424	3.424.766	22,68	490.442	229,1043386	4.953.465	370.284	153.999
5	Vapor de Mercúrio-250	250	33.503	8.376	3.015.270	3.316.797	14,18	474.980	143,1902116	4.797.302	358.610	149.144
6	Vapor de Mercúrio-125	125	59.162	7.395	2.662.290	2.928.519	7,09	419.377	71,59510582	4.235.710	316.630	131.684
7	Vapor de Sódio-150	150	45.173	6.776	2.439.342	2.683.276	8,51	384.257	85,91412698	3.880.999	290.114	120.657
8	Vapor de Sódio-70	70	69.412	4.859	1.749.182	1.924.101	3,97	275.540	40,09325926	2.782.953	208.033	86.520
9	Vapor de Sódio-600	600	3.090	1.854	667.440	734.184	34,03	105.138	343,6565079	1.061.899	79.380	33.013
10	Indução-300	300	2.052	616	221.616	243.778	17,01	34.910	171,828254	352.592	26.357	10.962
11	LED-100	100	5.030	503	181.080	199.188	5,67	28.525	57,27608466	288.099	21.536	8.957
12	Vapor Metálico-400	400	886	354	127.584	140.342	22,68	20.098	229,1043386	202.986	15.174	6.311
13	Vapor Metálico-250	250	1.093	273	98.370	108.207	14,18	15.496	143,1902116	156.507	11.699	4.866
14	LED-50	50	5.030	252	90.540	99.594	2,84	14.262	28,63804233	144.049	10.768	4.478
15	Vapor Metálico-150	150	985	148	53.190	58.509	8,51	8.379	85,91412698	84.625	6.326	2.631
16	Vapor Metálico-100	100	1.260	126	45.360	49.896	5,67	7.145	57,27608466	72.168	5.395	2.244
17	Vapor Metálico-315	315	314	99	35.608	39.168	17,86	5.609	180,4196667	56.652	4.235	1.761
18	Vapor Metálico-140	140	181	25	9.122	10.035	7,94	1.437	80,18651852	14.514	1.085	451
19	Vapor Metálico-210	210	24	5	1.814	1.996	11,91	286	120,2797778	2.887	216	90
20	Vapor Metálico-1000	1000	4	4	1.440	1.584	56,71	227	572,7608466	2.291	171	71
21	Vapor Metálico-200	200	14	3	1.008	1.109	11,34	159	114,5521693	1.604	120	50
22	Total:		561.490	111.249	40.049.597	44.054.556		6.308.812		63.719.003	4.763.153	1.980.967

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE F - Planilha de dados desenvolvida para suporte à análise econômica e ambiental (Tabela 12).

Tabela 12 – Planilha de dados desenvolvida para suporte à análise econômica e ambiental.

#	Período(t):	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano...
	Entradas e saídas atuais:	0	1	2	3	4	5...
1	Custos Operacionais Atuais: Materiais de reposição						
2	Custos Operacionais Atuais: Telegestão						
3	Custos Operacionais Atuais: Pessoal						
4	Custos Operacionais Atuais: Energia elétrica						
5	Custos Operacionais Atuais: Serviços (Operador Logístico, CallCenter, etc.)						
6	Custos Operacionais Atuais: Despesas com Administração (SG&A)						
7	Custos Operacionais Atuais: Outros						
8	Custos Ambientais: fabricação das luminárias de reposição (créditos de carbono adquiridos)						
9	Custos Ambientais: tratamento de resíduos eletrônicos e de lâmpadas de luminárias substituídas						
10	Custos Ambientais: reciclagem de outros resíduos						
11	Custos Operacionais Atuais: TOTAL						
12	Receitas anuais (arrecadação da Cosip a R\$22,6 milhões/mês)						
13	Outras receitas1: (ex: serviços acessórios)						
14	Receitas Ambientais: reciclagem						
15	Receitas Ambientais: créditos de carbono pela reciclagem						
16	Receitas Ambientais:						
17	Receitas anuais: TOTAL						
18	Resultado Atual (linha de base)						
19	Investimento anual necessário (Capex-demanda reprimida)						
20	Fluxo de caixa final						
21	Fluxo de Caixa Acumulado						
22	Fluxo de Caixa Descontado						
23	Fluxo de Caixa Descontato Acumulado						
25	Análise Econômica:						
26	TMA (%)						
27	TIR (%)						
28	VPL (R\$)						
29	Payback Simples (t)						
30	Payback Descontado (t)						

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: As colunas de períodos foram reduzidas de 20 para 5 anos para facilitar a visualização. Linhas com tarja verde indicam externalidades consideradas. E linhas com tarja azul indicam parâmetros calculados pela planilha (não são preenchidos).

APÊNDICE G - Extrato de Planilhas do GHG Protocol Brasil, tela de entrada (Quadro 15).

Ferramenta GHG Protocol 2013
Versão 2014.0

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Orientações

(A) O primeiro passo para a utilização da ferramenta é a escolha do ano (célula E24). Esta escolha é essencial, pois os fatores de emissão variam com base no ano escolhido.

(B) Preencha somente as células **LARANJA CLARO** das abas da Ferramenta. Se os dados não estiverem disponíveis ou não forem relevantes, deixe o valor padrão (branco, zero ou outro) na célula.

(C) Utilize as unidades corretas nos dados inseridos. Se necessário, converta as unidades utilizando a aba 'Fatores de Conversão' antes de preencher a planilha.

(D) Utilize a notação do sistema brasileiro de unidades de medida, utilizando "." para designar milhares e seus múltiplos e "," para designar decimais.

(E) O Menu de Navegação, presente na parte superior de todas as páginas/abas da ferramenta, pode ser utilizado para facilitar a navegação do usuário. Cada botão possui um link para a referida página/aba.

(F) Orientações para cada método de cálculo estão incluídas no cabeçalho da cada página/aba.

(G) Se esta ferramenta for usada para uma fonte ou local único (como por exemplo uma das unidades da organização), os arquivos podem ser salvos com o nome da fonte ou do local. Neste caso, as emissões calculadas para cada escopo (1, 2 e 3) devem, então, ser somadas para chegar ao valor total de emissões de escopos 1, 2 e 3 da organização, resultando no inventário de GEE consolidado da organização.

Nome da organização: PPP de IP da PMSP

Endereço da organização: ILUME

Ano inventariado: 2014

Nome do responsável: Oswaldo Sanchez Júnior

Telefone do responsável:

Data de preenchimento: 20/set/2015

Legenda de cores

	Células a serem preenchidas pelo usuário com os dados da organização
	Emissões Escopo 1 (tCO ₂ e)
	Emissões Escopo 2 (tCO ₂ e)
	Emissões Escopo 3 (tCO ₂ e)
	Emissões de biomassa (tCO ₂)

continua

(continuação).

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Resumo das emissões totais de GEE da organização

Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				0,000000	0,000000	0,000000

Quadro 15 – Extrato de Planilhas do GHG Protocol Brasil, tela de entrada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE H - Resultados da Aplicação do Protocolo.
(42 páginas)

Os resultados do trabalho são detalhados a seguir. As propostas foram associadas a números aleatórios (de 2 a 8). Apenas o número 1 foi reservado para a linha de base ou situação atual para facilitar a sua comparação no capítulo onde se fará uma análise dos resultados. Os dados utilizados para a análise, por proposta de solução analisada, foram dispostos de seguinte forma:

- Parâmetros da proposta, extraídos ou calculados da proposta de solução disponibilizada pela PMSP;
- Inventário da solução proposta, tal como foi realizado para a linha de base ou situação atual. Os dados foram dispostos conforme ordem utilizada no inventário da linha de base, ou seja, cada tecnologia atual foi associada a sua substituta;
- Planilha do fluxo de caixa da solução proposta com dados extraídos da proposta de solução disponibilizada pela PMSP. Nesta planilha os valores referem-se a milhares de reais (R\$ x 1.000.000). Também se optou por codificar as entradas e saídas com numeração de linhas que seguem o código da **Tabela 13** a seguir.

Tabela 13 – Códigos para o fluxo de caixa.

Fluxo	Linha da planilha
Custos Operacionais Propostos: Materiais de reposição (incluso em Investimentos)	1
Custos Operacionais Propostos: Telegestão	2
Custos Operacionais Propostos: Pessoal	3
Custos Operacionais Propostos: Energia elétrica	4
Custos Operacionais Propostos: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	5
Custos Operacionais Propostos: Desp. Administrativas	6
Custos Operacionais Propostos: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	7
Custos Operacionais Propostos: outros	8
Custos Ambientais: fabricação das luminárias de substituição e reposição (compra de créditos de carbono)	9
Custos Ambientais: tratamento de resíduos (lâmpadas e e-waste) de luminárias substituídas	10
Custos Ambientais: reciclagem de outros resíduos	11
Custos Ambientais:	12
Custos Operacionais Propostos: TOTAL	13
Receitas anuais (Cosip)	14
Outras receitas 1 (serviços acessórios)	15
Receitas Ambientais: eficiência energética	16
Receitas Ambientais: reciclagem de materiais (venda)	17
Receitas Ambientais: créditos de carbono pela reciclagem	18
Receitas Ambientais:	19
Receitas anuais: TOTAL	20
Resultado Proposto (nova linha da base)	21
Investimento Anual Necessário (Capex)	22
Fluxo de Caixa Final	23
Fluxo de Caixa Acumulado	24
Fluxo de Caixa Descontado	25
Fluxo de Caixa Descontato Acumulado	26

Fonte: Elaborado pelo autor

Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil.

Os dados obtidos para cada proposta analisada estão relatados a seguir.

Resultados para a Proposta 1 (P1) – Linha de Base ou Situação Atual

Os parâmetros utilizados para a Proposta P1 estão na **Tabela 14** a seguir.

Tabela 14 – Parâmetros da proposta P1.

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	561.490,00
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	12
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	44.054.556,48
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	R\$ 0,177
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	R\$ 7.797.656,50
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	R\$ 93.571.877,96
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	R\$ 21.360.021,71
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	R\$ 13.437.809,55
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	R\$ 29.051.571,31
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	R\$ 43.844.930,90
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	R\$ 35.582.348,54
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	R\$ 4.956.677,98
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	R\$ 241.805.237,96
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	5
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	R\$ 9.826.075,00
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	4.380
18	Custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	R\$ 22,00

continua

Tabela 14 – Parâmetros da proposta P1 (continuação)

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	R\$ 271.200.000,00
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	R\$ 350,00
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	R\$ 4,70
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	40
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	5
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	R\$ 11,48
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	1,35E-04	1,35E-04
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	76.000
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	5
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	10
29	Peso médio por W consumido (kg)	5,67E-02	5,67E-02

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os dados organizados da seguinte forma:

- Tabela 15 – Inventário da solução proposta P1;
- Tabela 16 – Fluxo de caixa da proposta P1;
- Tabela 17 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P1.

Tabela 15 – Inventário da solução proposta P1.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	Vapor de Sódio-250	250	120.092	30.023	10.808.280	11.889.108	14,18	1.702.574	1,43E+02	17.195.999	1.285.443	534.608
2	Vapor de Mercúrio-400	400	72.179	28.872	10.393.776	11.433.154	22,68	1.637.279	229,1043386	16.536.522	1.236.146	514.106
3	Vapor de Sódio-100	100	120.385	12.039	4.333.860	4.767.246	5,67	682.691	57,27608466	6.895.181	515.432	214.365
4	Vapor de Sódio-400	400	21.621	8.648	3.113.424	3.424.766	22,68	490.442	229,1043386	4.953.465	370.284	153.999
5	Vapor de Mercúrio-250	250	33.503	8.376	3.015.270	3.316.797	14,18	474.980	143,1902116	4.797.302	358.610	149.144
6	Vapor de Mercúrio-125	125	59.162	7.395	2.662.290	2.928.519	7,09	419.377	71,59510582	4.235.710	316.630	131.684
7	Vapor de Sódio-150	150	45.173	6.776	2.439.342	2.683.276	8,51	384.257	85,91412698	3.880.999	290.114	120.657
8	Vapor de Sódio-70	70	69.412	4.859	1.749.182	1.924.101	3,97	275.540	40,09325926	2.782.953	208.033	86.520
9	Vapor de Sódio-600	600	3.090	1.854	667.440	734.184	34,03	105.138	343,6565079	1.061.899	79.380	33.013
10	Indução-300	300	2.052	616	221.616	243.778	17,01	34.910	171,828254	352.592	26.357	10.962
11	LED-100	100	5.030	503	181.080	199.188	5,67	28.525	57,27608466	288.099	21.536	8.957
12	Vapor Metálico-400	400	886	354	127.584	140.342	22,68	20.098	229,1043386	202.986	15.174	6.311
13	Vapor Metálico-250	250	1.093	273	98.370	108.207	14,18	15.496	143,1902116	156.507	11.699	4.866
14	LED-50	50	5.030	252	90.540	99.594	2,84	14.262	28,63804233	144.049	10.768	4.478
15	Vapor Metálico-150	150	985	148	53.190	58.509	8,51	8.379	85,91412698	84.625	6.326	2.631
16	Vapor Metálico-100	100	1.260	126	45.360	49.896	5,67	7.145	57,27608466	72.168	5.395	2.244
17	Vapor Metálico-315	315	314	99	35.608	39.168	17,86	5.609	180,4196667	56.652	4.235	1.761
18	Vapor Metálico-140	140	181	25	9.122	10.035	7,94	1.437	80,18651852	14.514	1.085	451
19	Vapor Metálico-210	210	24	5	1.814	1.996	11,91	286	120,2797778	2.887	216	90
20	Vapor Metálico-1000	1000	4	4	1.440	1.584	56,71	227	572,7608466	2.291	171	71
21	Vapor Metálico-200	200	14	3	1.008	1.109	11,34	159	114,5521693	1.604	120	50
22	Total:		561.490	111.249	40.049.597	44.054.556		6.308.812		63.719.003	4.763.153	1.980.967

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 16 – Fluxo de caixa da proposta P1.

t	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
In/out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51
3	-	8,95	9,40	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42
4	-	41,14	45,25	45,67	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71
5	-	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
6	-	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96
7	-	6,58	6,91	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
8	-	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53
9	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	87,17	92,06	92,51	92,55	92,56	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20
14	-	305,00	320,25	321,01	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
17	-	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	307,89	323,14	323,90	323,94	323,94	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51
21	-	220,72	231,08	231,40	231,39	231,39	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32
22	191,11	347,35	337,47	314,97	315,25	58,51	51,79	35,82	35,48	41,49	38,92	35,25	30,28	29,17	27,97	70,83	114,06	115,09	106,17	96,90	32,33
23	-191,11	-126,62	-106,38	-83,57	-83,86	172,88	177,53	193,50	193,84	187,82	190,40	194,07	199,04	200,14	201,34	158,49	115,26	114,22	123,14	132,42	196,98
24	-191,11	-317,74	-424,12	-507,69	-591,56	-418,68	-241,15	-47,66	146,18	334,00	524,40	718,46	917,50	1.117,65	1.318,99	1.477,48	1.592,73	1.706,95	1.830,10	1.962,51	2.159,49
25	-191,11	-115,11	-87,92	-62,79	-57,28	107,34	100,21	99,29	90,43	79,66	73,41	68,02	63,42	57,97	53,02	37,94	25,08	22,60	22,15	21,65	29,28
26	-191,11	-306,23	-394,15	-456,94	-514,22	-406,87	-306,66	-207,37	-116,94	-37,29	36,12	104,14	167,56	225,53	278,55	316,49	341,57	364,17	386,32	407,97	437,25

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: valores em R\$ x 1.000.000.

Tabela 17 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P1.

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Resumo das emissões totais de GEE da organização

Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	682,000000	71.623,897925	19,000000	682,000000	71.623,897925	19,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				682,000000	71.623,897925	19,000000

Fonte: Elaborado pelo autor

Resultados para a Proposta 2 (P2)

Os parâmetros utilizados para a Proposta P2 estão na **Tabela 18** a seguir.

Tabela 18 – Parâmetros da proposta P2.

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	561.490
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	12
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	19.369.207,67
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	R\$ 0,177
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	R\$ 3.428.349,76
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	R\$ 41.140.197,10
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	R\$ 6.580.722,07
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	R\$ 13.508.006,14
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	R\$ 8.950.380,25
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	R\$ 4.140.000,00
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	R\$ 10.962.420,80
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	R\$ 1.527.082,73
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	R\$ 86.808.809,08
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	1
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	R\$ 12.152.690,58
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	4.380

continua

Tabela 18 – Parâmetros da proposta P2

(continuação).

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
18	Custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	R\$ 6,78
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	R\$ 305.000.000,04
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	R\$ 2.164,36
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	R\$ 4,70
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	60
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	13
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	R\$ 11,48
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	1,35E-04	1,35E-04
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	0,00E+00
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	5,00E+00
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	1,00E+01
29	Peso médio por W consumido (kg)	5,67E-02	8,03E-02

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os dados organizados da seguinte forma:

- Tabela 19 – Inventário da solução proposta P2;
- Tabela 20 – Fluxo de caixa da proposta P2;
- Tabela 21 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P2.

Tabela 19 – Inventário da solução proposta P2.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	LED	116	120.092	13.903	5.005.097	5.255.352	9,29	1.116.027	20	2.343.657	61.381	637
2	LED	154	72.179	11.142	4.010.957	4.211.505	12,39	894.356	26	1.878.147	49.190	511
3	LED	54	120.385	6.504	2.341.411	2.458.481	4,34	522.083	9	1.096.375	28.715	298
4	LED	193	21.621	4.172	1.501.838	1.576.930	15,49	334.877	33	703.241	18.418	191
5	LED	116	33.503	3.879	1.396.311	1.466.127	9,29	311.347	20	653.828	17.124	178
6	LED	54	59.162	3.196	1.150.663	1.208.196	4,34	256.573	9	538.802	14.111	147
7	LED	77	45.173	3.486	1.255.123	1.317.879	6,20	279.865	13	587.716	15.393	160
8	LED	39	69.412	2.679	964.299	1.012.514	3,10	215.018	7	451.537	11.826	123
9	LED	309	3.090	954	343.420	360.591	24,78	76.575	52	160.808	4.212	44
10	LED	154	2.052	317	114.029	119.730	12,39	25.426	26	53.394	1.398	15
11	LED	54	5.030	272	97.830	102.722	4,34	21.814	9	45.809	1.200	12
12	LED	232	886	205	73.852	77.545	18,59	16.467	39	34.581	906	9
13	LED	116	1.093	127	45.553	47.831	9,29	10.157	20	21.330	559	6
14	LED	39	5.030	194	69.879	73.373	3,10	15.581	7	32.721	857	9
15	LED	77	985	76	27.368	28.736	6,20	6.102	13	12.815	336	3
16	LED	54	1.260	68	24.506	25.731	4,34	5.464	9	11.475	301	3
17	LED	154	314	48	17.449	18.321	12,39	3.891	26	8.170	214	2
18	LED	77	181	14	5.029	5.281	6,20	1.121	13	2.355	62	1
19	LED	116	24	3	1.000	1.050	9,29	223	20	468	12	0
20	LED	463	4	2	667	700	37,17	149	78	312	8	0
21	LED	116	14	2	583	613	9,29	130	20	273	7	0
22	Total:		561.490	51.241	18.446.864	19.369.208		4.113.246		8.637.817	226.229	2.349

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 20 – Fluxo de caixa da proposta P2.

t	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
In/out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51	13,51
3	-	8,95	9,40	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42
4	-	41,14	45,25	45,67	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71	45,71
5	-	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
6	-	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96	10,96
7	-	6,58	6,91	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93	6,93
8	-	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53
9	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	87,17	92,06	92,51	92,55	92,56	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20	92,20
14	-	305,00	320,25	321,01	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
17	-	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	307,89	323,14	323,90	323,94	323,94	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51	321,51
21	-	220,72	231,08	231,40	231,39	231,39	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32	229,32
22	191,11	347,35	337,47	314,97	315,25	58,51	51,79	35,82	35,48	41,49	38,92	35,25	30,28	29,17	27,97	70,83	114,06	115,09	106,17	96,90	32,33
23	-191,11	-126,62	-106,38	-83,57	-83,86	172,88	177,53	193,50	193,84	187,82	190,40	194,07	199,04	200,14	201,34	158,49	115,26	114,22	123,14	132,42	196,98
24	-191,11	-317,74	-424,12	-507,69	-591,56	-418,68	-241,15	-47,66	146,18	334,00	524,40	718,46	917,50	1.117,65	1.318,99	1.477,48	1.592,73	1.706,95	1.830,10	1.962,51	2.159,49
25	-191,11	-115,11	-87,92	-62,79	-57,28	107,34	100,21	99,29	90,43	79,66	73,41	68,02	63,42	57,97	53,02	37,94	25,08	22,60	22,15	21,65	29,28
26	-191,11	-306,23	-394,15	-456,94	-514,22	-406,87	-306,66	-207,37	-116,94	-37,29	36,12	104,14	167,56	225,53	278,55	316,49	341,57	364,17	386,32	407,97	437,25

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: valores em R\$ x 1.000.000.

Tabela 21 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P2.

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens e negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Resumo das emissões totais de GEE da organização*Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos*

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	14.153,000000	40.801,326068	6.744,000000	14.153,000000	40.801,326068	6.744,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				14.153,000000	40.801,326068	6.744,000000

Fonte: Elaborado pelo autor

Resultados para a Proposta 3 (P3)

Os parâmetros utilizados para a Proposta P2 estão na **Tabela 22** a seguir.

Tabela 22 – Parâmetros da proposta P3.

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	561.490
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	12
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	24.405.378
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	R\$0,18
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	R\$4.319.751,98
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	R\$51.837.023,73
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	R\$10.369.277,33
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	R\$7.372.043,33
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	R\$15.553.916,00
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	R\$379.731,00
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	R\$7.929.350,43
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	R\$7.639.300,50
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	R\$101.080.642,33
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	1
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	R\$12.152.690,58
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	4.380

continua

Tabela 22 – Parâmetros da proposta P3(continuação).

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
18	Custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	R\$7,31
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	R\$305.000.000,04
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	R\$2.164,36
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	R\$6,15
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	60
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	13
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	R\$3,99
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	1,35E-04	1,35E-04
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	-
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	5
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	10
29	Peso médio por W consumido (kg)	5,67E-02	8,03E-02

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os dados organizados da seguinte forma:

- Tabela 23 – Inventário da solução proposta P3;
- Tabela 24 – Fluxo de caixa da proposta P3;
- Tabela 25 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P3.

Tabela 23 – Inventário da solução proposta P3.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	LED	147,68	120.092,00	17.735,44	6.384.756,77	6.703.994,61	11,85	1.423.660,81	24,89	2.989.687,70	78.301,34	812,91
2	LED	212,29	72.179,00	15.323,09	5.516.314,19	5.792.129,90	17,04	1.230.017,15	35,79	2.583.036,01	67.650,94	702,34
3	LED	67,38	120.385,00	8.111,53	2.920.152,52	3.066.160,14	5,41	651.130,00	11,36	1.367.373,00	35.812,15	371,80
4	LED	212,29	21.621,00	4.589,99	1.652.395,14	1.735.014,90	17,04	368.447,90	35,79	773.740,58	20.264,63	210,38
5	LED	147,68	33.503,00	4.947,79	1.781.205,29	1.870.265,56	11,85	397.169,74	24,89	834.056,45	21.844,34	226,78
6	LED	83,07	59.162,00	4.914,66	1.769.276,27	1.857.740,09	6,67	394.509,83	14,00	828.470,64	21.698,04	225,27
7	LED	83,07	45.173,00	3.752,57	1.350.926,56	1.418.472,89	6,67	301.227,01	14,00	632.576,72	16.567,49	172,00
8	LED	36,92	69.412,00	2.562,73	922.581,72	968.710,81	2,96	205.715,50	6,22	432.002,55	11.314,35	117,46
9	LED	369,21	3.090,00	1.140,84	410.703,84	431.239,04	29,64	91.577,95	62,24	192.313,70	5.036,79	52,29
10	LED	184,60	2.052,00	378,80	136.369,63	143.188,11	14,82	30.407,44	31,12	63.855,62	1.672,41	17,36
11	LED	64,61	5.030,00	324,99	116.997,43	122.847,30	5,19	26.087,86	10,89	54.784,51	1.434,83	14,90
12	LED	212,29	886,00	188,09	67.712,97	71.098,62	17,04	15.098,51	35,79	31.706,87	830,42	8,62
13	LED	138,45	1.093,00	151,33	54.478,07	57.201,97	11,11	12.147,42	23,34	25.509,57	668,11	6,94
14	LED	46,15	5.030,00	232,14	83.569,59	87.748,07	3,70	18.634,19	7,78	39.131,79	1.024,88	10,64
15	LED	83,07	985,00	81,83	29.457,04	30.929,89	6,67	6.568,27	14,00	13.793,37	361,26	3,75
16	LED	36,92	1.260,00	46,52	16.747,15	17.584,50	2,96	3.734,25	6,22	7.841,92	205,38	2,13
17	LED	184,60	314,00	57,97	20.867,48	21.910,85	14,82	4.652,99	31,12	9.771,28	255,91	2,66
18	LED	92,30	181,00	16,71	6.014,35	6.315,07	7,41	1.341,07	15,56	2.816,24	73,76	0,77
19	LED	138,45	24,00	3,32	1.196,22	1.256,04	11,11	266,73	23,34	560,14	14,67	0,15
20	LED	553,81	4,00	2,22	797,48	837,36	44,46	177,82	93,36	373,42	9,78	0,10
21	LED	138,45	14,00	1,94	697,80	732,69	11,11	155,59	23,34	326,75	8,56	0,09
22	Total:		561.490,00	64.564,49	23.243.217,53	24.405.378,41		5.182.728,02		10.883.728,84	285.050,04	2.959,34

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 24 – Fluxo de caixa da proposta P3.

t	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
In/out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37
3	-	15,55	16,33	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37
4	-	51,84	57,02	57,54	57,59	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60	57,60
5	-	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
6	-	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93	7,93
7	-	10,37	10,89	10,91	10,91	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92
8	-	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64
9	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	101,42	107,90	108,48	108,53	108,54	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20	108,20
14	-	305,00	320,25	321,01	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
17	-	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	308,25	323,50	324,26	324,30	324,30	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18	321,18
21	-	206,84	215,61	215,79	215,77	215,76	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98	212,98
22	228,60	210,68	210,55	210,69	211,23	187,66	14,89	14,89	15,06	16,23	14,89	14,89	14,89	14,89	15,30	204,69	206,52	206,52	212,92	201,37	177,95
23	-228,60	-3,84	5,06	5,10	4,54	28,11	198,08	198,08	197,92	196,75	198,08	198,08	198,08	198,08	197,68	8,28	6,46	6,46	0,05	11,60	35,03
24	-228,60	-232,44	-227,38	-222,29	-217,75	-189,64	8,44	206,52	404,44	601,19	799,27	997,35	1.195,43	1.393,52	1.591,20	1.599,48	1.605,94	1.612,40	1.612,45	1.624,06	1.659,08
25	-228,60	-3,49	4,18	3,83	3,10	17,45	111,81	101,65	92,33	83,44	76,37	69,43	63,11	57,38	52,06	1,98	1,41	1,28	0,01	1,90	5,21
26	-228,60	-232,09	-227,91	-224,08	-220,98	-203,53	-91,72	9,93	102,26	185,70	262,07	331,50	394,61	451,99	504,04	506,03	507,43	508,71	508,72	510,62	515,82

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: valores em R\$ x 1.000.000.

Tabela 25 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P3.

Resumo das emissões totais de GEE da organização

Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	14.912,000000	42.987,765233	6.744,000000	14.912,000000	42.987,765233	6.744,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				14.912,000000	42.987,765233	6.744,000000

Fonte: Elaborado pelo autor

Resultados para a Proposta 4 (P4)

Os parâmetros utilizados para a Proposta P4 estão na **Tabela 26** a seguir.

Tabela 26 – Parâmetros da proposta P4.

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	561.490
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	12
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	35.721.223
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	R\$0,18
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	R\$6.322.656,50
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	R\$75.871.877,96
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	R\$27.159.519,61
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	R\$-
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	R\$25.467.727,27
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	R\$13.249.616,12
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	R\$10.421.155,16
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	R\$-
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	R\$152.169.896,12
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	1
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	R\$12.152.690,58
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	4.380

continua

Tabela 26 – Parâmetros da proposta P4 (continuação).

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
18	Custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	R\$11,32
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	R\$305.000.000,04
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	R\$2.164,36
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	R\$4,70
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	60
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	13
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	R\$11,48
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	1,35E-04	1,35E-04
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	0
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	5
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	10
29	Peso médio por W consumido (kg)	5,67E-02	8,03E-02

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os dados organizados da seguinte forma:

- Tabela 27 – Inventário da solução proposta P4;
- Tabela 28 – Fluxo de caixa da proposta P4;
- Tabela 29 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P4.

Tabela 27 – Inventário da solução proposta P4.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	LED	214	120.092	25.640	9.230.538	9.692.065	12,10772003	1.454.040	25	3.053.485	79.972	830
2	LED	285	72.179	20.548	7.397.118	7.766.973	22,85145357	1.649.395	48	3.463.730	90.717	942
3	LED	100	120.385	11.995	4.318.094	4.533.999	7,998008751	962.840	17	2.021.965	52.956	550
4	LED	356	21.621	7.694	2.769.730	2.908.217	28,56431697	617.589	60	1.296.937	33.967	353
5	LED	214	33.503	7.153	2.575.115	2.703.871	17,13859018	574.194	36	1.205.808	31.581	328
6	LED	100	59.162	5.895	2.122.084	2.228.188	7,998008751	473.178	17	993.674	26.025	270
7	LED	142	45.173	6.430	2.314.731	2.430.468	11,42572679	516.134	24	1.083.882	28.387	295
8	LED	71	69.412	4.940	1.778.387	1.867.306	5,712863394	396.541	12	832.737	21.810	226
9	LED	569	3.090	1.759	633.345	665.012	45,70290715	141.222	96	296.566	7.767	81
10	LED	285	2.052	584	210.295	220.810	22,85145357	46.891	48	98.471	2.579	27
11	LED	100	5.030	501	180.421	189.442	7,998008751	40.230	17	84.483	2.213	23
12	LED	427	886	378	136.200	143.010	34,27718036	30.370	72	63.776	1.670	17
13	LED	214	1.093	233	84.010	88.211	17,13859018	18.732	36	39.338	1.030	11
14	LED	71	5.030	358	128.872	135.316	5,712863394	28.736	12	60.345	1.580	16
15	LED	142	985	140	50.473	52.997	11,42572679	11.254	24	23.634	619	6
16	LED	100	1.260	126	45.195	47.455	7,998008751	10.077	17	21.163	554	6
17	LED	285	314	89	32.180	33.789	22,85145357	7.175	48	15.068	395	4
18	LED	142	181	26	9.275	9.738	11,42572679	2.068	24	4.343	114	1
19	LED	214	24	5	1.845	1.937	17,13859018	411	36	864	23	0
20	LED	854	4	3	1.230	1.291	68,55436072	274	144	576	15	0
21	LED	214	14	3	1.076	1.130	17,13859018	240	36	504	13	0
22	Total:		561.490	94.501	34.020.213	35.721.223		6.981.594		14.661.348	383.988	3.986

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 28 – Fluxo de caixa da proposta P4.

t	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
In/out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	25,47	26,74	26,80	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81	26,81
4	-	75,87	83,46	84,22	84,29	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30	84,30
5	-	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25	13,25
6	-	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42	10,42
7	-	27,16	28,52	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59	28,59
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	152,56	162,78	163,67	163,75	163,76	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37	163,37
14	-	305,00	320,25	321,01	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
17	-	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	307,59	322,84	323,60	323,64	323,64	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21	321,21
21	-	155,03	160,06	159,93	159,89	159,88	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84	157,84
22	88,93	111,41	101,97	98,22	95,68	110,55	93,79	93,58	93,58	93,79	71,72	47,50	47,71	47,50	47,50	65,18	47,50	47,50	47,71	47,50	72,65
23	-88,93	43,62	58,09	61,71	64,20	49,33	64,05	64,25	64,25	64,05	86,12	110,33	110,13	110,33	110,33	92,66	110,33	110,33	110,13	110,33	85,19
24	-88,93	-45,31	12,78	74,49	138,69	188,02	252,07	316,32	380,58	444,63	530,75	641,08	751,21	861,55	971,88	1.064,54	1.174,87	1.285,21	1.395,34	1.505,67	1.590,86
25	-88,93	39,65	48,01	46,36	43,85	30,63	36,15	32,97	29,98	27,16	33,20	38,67	35,09	31,96	29,05	22,18	24,01	21,83	19,81	18,04	12,66
26	-88,93	-49,28	-1,27	45,09	88,95	119,58	155,73	188,70	218,68	245,84	279,04	317,72	352,81	384,77	413,82	436,00	460,01	481,84	501,65	519,69	532,35

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: valores em R\$ x 1.000.000.

Tabela 29 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P4.

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Resumo das emissões totais de GEE da organização*Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos*

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	13.026,000000	40.801,326068	6.744,000000	13.026,000000	40.801,326068	6.744,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				13.026,000000	40.801,326068	6.744,000000

Fonte: Elaborado pelo autor

Resultados para a Proposta 5 (P5)

Os parâmetros utilizados para a Proposta P5 estão na **Tabela 30** a seguir.

Tabela 30 – Parâmetros da proposta P5.

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	561.490
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	12
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	33.272.204
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	R\$0,18
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	R\$5.889.180,07
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	R\$70.670.160,83
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	R\$1.685.286,39
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	R\$12.564.226,82
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	R\$6.203.710,20
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	R\$20.000.000,00
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	R\$4.819.768,20
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	R\$12.564.226,82
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	R\$128.507.379,26
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	1
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	R\$7.052.314,40
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	4.380

continua

Tabela 30 – Parâmetros da proposta P5

(continuação).

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
18	Custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	R\$8,58
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	R\$305.000.000,04
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	R\$1.256,00
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	R\$4,70
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	60
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	13
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	R\$11,48
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	1,35E-04	1,35E-04
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	0
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	5
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	10
29	Peso médio por W consumido (kg)	5,67E-02	8,03E-02

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os dados organizados da seguinte forma:

- Tabela 31 – Inventário da solução proposta P5;
- Tabela 32 – Fluxo de caixa da proposta P5;
- Tabela 33 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P5.

Tabela 31 – Inventário da solução proposta P5.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	Vapor de Sódio-250	231	120.092	27.780	10.000.807	10.500.848	13,12	1.575.377	28	3.308.292	86.646	900
2	Vapor de Sódio-250	231	72.179	16.697	6.010.794	6.311.334	13,12	946.850	28	1.988.386	52.077	541
3	Vapor de Sódio-100	93	120.385	11.139	4.010.083	4.210.587	5,25	631.688	11	1.326.545	34.743	361
4	Vapor de Sódio-400	370	21.621	8.002	2.880.824	3.024.865	20,99	453.802	44	952.984	24.959	259
5	Vapor de Sódio-150	139	33.503	4.650	1.674.002	1.757.702	7,87	263.697	17	553.764	14.503	151
6	Vapor de Sódio-100	93	59.162	5.474	1.970.715	2.069.251	5,25	310.437	11	651.917	17.074	177
7	Vapor de Sódio-150	139	45.173	6.270	2.257.102	2.369.957	7,87	355.550	17	746.655	19.555	203
8	Vapor de Sódio-70	65	69.412	4.496	1.618.503	1.699.428	3,67	254.955	8	535.405	14.023	146
9	Vapor de Sódio-600	555	3.090	1.715	617.576	648.455	31,48	97.284	66	204.296	5.351	56
10	Vapor de Sódio-250	231	2.052	475	170.883	179.427	13,12	26.918	28	56.528	1.481	15
11	LED-100	93	5.030	465	167.552	175.929	5,25	26.394	11	55.427	1.452	15
12	Vapor de Sódio-250	231	886	205	73.783	77.472	13,12	11.623	28	24.408	639	7
13	Vapor de Sódio-150	139	1.093	152	54.613	57.343	7,87	8.603	17	18.066	473	5
14	LED-50	46	5.030	233	83.776	87.965	2,62	13.197	6	27.713	726	8
15	Vapor de Sódio-100	93	985	91	32.811	34.451	5,25	5.169	11	10.854	284	3
16	Vapor de Sódio-70	65	1.260	82	29.380	30.849	3,67	4.628	8	9.719	255	3
17	Vapor de Sódio-250	231	314	73	26.149	27.456	13,12	4.119	28	8.650	227	2
18	Vapor de Sódio-100	93	181	17	6.029	6.331	5,25	950	11	1.994	52	1
19	Vapor de Sódio-150	139	24	3	1.199	1.259	7,87	189	17	397	10	0
20	Vapor de Sódio-400	370	4	1	533	560	20,99	84	44	176	5	0
21	Vapor de Sódio-150	139	14	2	700	734	7,87	110	17	231	6	0
22	Total:		561.490	88.022	31.687.813	33.272.204		4.991.622		10.482.407	274.539	2.850

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: entende-se que os autores desta proposta consideraram potências menores que as nominais para as luminárias convencionais por terem distribuído o ganho em perdas em outros pontos da instalação (cabos, transformadores, etc.) igualmente entre as luminárias.

Tabela 32 – Fluxo de caixa da proposta P5.

t	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
In/out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56
4	-	6,20	6,51	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53	6,53
5	-	70,67	77,74	78,44	78,51	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52	78,52
6	-	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
7	-	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82
8	-	1,69	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
9	-	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56	12,56
10	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	128,88	136,34	137,06	137,13	137,14	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77	136,77
15	-	305,00	320,25	321,01	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
18	-	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	307,63	322,88	323,64	323,68	323,68	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25	321,25
22	-	178,76	186,55	186,58	186,55	186,54	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48
23	154,63	154,63	154,63	154,63	154,63	-	-	-	-	-	154,63	154,63	154,63	154,63	154,63	-	-	-	-	-	-
24	-154,63	24,12	31,91	31,95	31,91	186,54	184,48	184,48	184,48	184,48	29,85	29,85	29,85	29,85	29,85	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48	184,48
25	-154,63	-130,51	-98,60	-66,65	-34,74	151,81	336,29	520,77	705,24	889,72	919,57	949,42	979,26	1.009,11	1.038,95	1.223,43	1.407,91	1.592,39	1.776,87	1.961,35	2.145,83
26	-154,63	21,93	26,37	24,00	21,80	115,83	104,13	94,67	86,06	78,24	11,51	10,46	9,51	8,65	7,86	44,16	40,15	36,50	33,18	30,16	27,42

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: valores em R\$ x 1.000.000.

Tabela 33 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P5.

Menu de navegação					
Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão		
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Resumo das emissões totais de GEE da organização

Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	14.327,000000	58.461,534021	6.744,000000	14.327,000000	58.461,534021	6.744,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				14.327,000000	58.461,534021	6.744,000000

Fonte: Elaborado pelo autor

Resultados para a Proposta 6 (P6)

Os parâmetros utilizados para a Proposta P6 estão na **Tabela 34** a seguir.

Tabela 34 – Parâmetros da proposta P6.

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	561.490
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	12
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	28.872.833
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	R\$0,18
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	R\$5.110.491,49
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	R\$61.325.897,84
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	R\$13.956.763,84
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	R\$2.110.600,24
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	R\$5.673.747,53
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	R\$2.626.857,08
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	R\$10.976.962,93
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	R\$28.468.116,42
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	R\$125.138.945,89
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	1
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	R\$12.152.690,58
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	4.380

continua

Tabela 34 – Parâmetros da proposta P6

(continuação).

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
18	Custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	R\$9,47
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	R\$305.000.000,04
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	R\$2.164,36
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	R\$4,70
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	60
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	13
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	R\$11,48
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	1,35E-04	1,35E-04
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	0
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	5
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	10
29	Peso médio por W consumido (kg)	5,67E-02	8,03E-02

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os dados organizados da seguinte forma:

- Tabela 35 – Inventário da solução proposta P6;
- Tabela 36 – Fluxo de caixa da proposta P6;
- Tabela 37 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P6.

Tabela 35 – Inventário da solução proposta P6.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	LED	137	120.092	16.407	5.906.343	6.201.660	10,97	1.316.985	23	2.765.669	72.434	752
2	LED	137	72.179	9.861	3.549.895	3.727.389	10,97	791.549	23	1.662.252	43.535	452
3	LED	112	120.385	13.426	4.833.268	5.074.932	8,95	1.077.713	19	2.263.197	59.274	615
4	LED	282	21.621	6.088	2.191.824	2.301.415	22,60	488.729	47	1.026.330	26.880	279
5	LED	209	33.503	7.006	2.522.049	2.648.151	16,79	562.362	35	1.180.959	30.930	321
6	LED	137	59.162	8.082	2.909.695	3.055.180	10,97	648.798	23	1.362.476	35.684	370
7	LED	137	45.173	6.171	2.221.690	2.332.775	10,97	495.388	23	1.040.315	27.246	283
8	LED	85	69.412	5.903	2.124.922	2.231.168	6,83	473.811	14	995.003	26.060	271
9	LED	436	3.090	1.348	485.379	509.648	35,03	108.229	74	227.281	5.953	62
10	LED	167	2.052	343	123.577	129.756	13,43	27.555	28	57.865	1.516	16
11	LED	125	5.030	631	227.190	238.549	10,07	50.658	21	106.383	2.786	29
12	LED	282	886	249	89.818	94.309	22,60	20.027	47	42.058	1.102	11
13	LED	120	1.093	131	47.173	49.532	9,62	10.519	20	22.089	579	6
14	LED	70	5.030	351	126.217	132.527	5,60	28.144	12	59.101	1.548	16
15	LED	120	985	118	42.512	44.638	9,62	9.479	20	19.906	521	5
16	LED	112	1.260	141	50.587	53.116	8,95	11.280	19	23.688	620	6
17	LED	282	314	88	31.832	33.423	22,60	7.098	47	14.905	390	4
18	LED	162	181	29	10.537	11.064	12,98	2.350	27	4.934	129	1
19	LED	251	24	6	2.168	2.276	20,14	483	42	1.015	27	0
20	LED	436	4	2	628	660	35,03	140	74	294	8	0
21	LED	125	14	2	632	664	10,07	141	21	296	8	0
22	Total:		561.490	76.383	27.497.936	28.872.833		6.131.437		12.876.018	337.229	3.501

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 36 – Fluxo de caixa da proposta P6.

t	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
In/out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
3	-	5,67	5,96	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97
4	-	61,33	67,46	68,07	68,13	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14	68,14
5	-	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63
6	-	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98	10,98
7	-	13,96	14,65	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69	14,69
8	-	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47	28,47
9	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	125,52	132,63	133,29	133,36	133,36	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99	132,99
14	-	305,00	320,25	321,01	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
17	-	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	307,71	322,96	323,73	323,76	323,77	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34	321,34
21	-	182,20	190,33	190,43	190,41	190,40	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35	188,35
22	87,50	341,46	252,14	225,77	230,20	204,00	181,91	25,74	32,33	20,18	38,18	65,50	64,97	73,60	67,00	72,68	63,87	32,61	25,95	25,56	25,56
23	-87,50	-159,27	-61,81	-35,34	-39,79	-13,60	6,44	162,61	156,02	168,17	150,17	122,85	123,38	114,75	121,35	115,67	124,48	155,74	162,40	162,79	162,79
24	-87,50	-246,77	-308,58	-343,92	-383,71	-397,31	-390,87	-228,26	-72,24	95,94	246,11	368,96	492,34	607,09	728,44	844,10	968,58	1.124,31	1.286,71	1.449,51	1.612,30
25	-87,50	-144,79	-51,08	-26,55	-27,18	-8,45	3,64	83,45	72,78	71,32	57,90	43,06	39,31	33,24	31,95	27,69	27,09	30,81	29,21	26,62	24,20
26	-87,50	-232,29	-283,37	-309,92	-337,10	-345,55	-341,91	-258,46	-185,68	-114,36	-56,46	-13,40	25,91	59,15	91,10	118,79	145,88	176,69	205,90	232,52	256,72

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: valores em R\$ x 1.000.000.

Tabela 37 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P6.

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Resumo das emissões totais de GEE da organização*Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos*

	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
GEE (t)	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	11.681,000000	33.672,898021	6.744,000000	11.681,000000	33.672,898021	6.744,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				11.681,000000	33.672,898021	6.744,000000

Fonte: Elaborado pelo autor

Resultados para a Proposta 7 (P7)

Os parâmetros utilizados para a Proposta P7 estão na **Tabela 38** a seguir.

Tabela 38 – Parâmetros da proposta P7.

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	561.490
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	12
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	25.762.712
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	R\$0,18
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	R\$4.560.000,00
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	R\$54.720.000,00
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	R\$107.657.157,54
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	R\$23.395.416,67
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	R\$-
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	R\$-
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	R\$14.660.520,00
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	R\$672.000,00
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	R\$201.105.094,21
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	1
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	R\$10.668.310,00
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	4.380

continua

Tabela 38 – Parâmetros da proposta P7(continuação).

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
18	Custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	R\$21,73
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	R\$305.000.000,04
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	R\$1.900,00
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	R\$4,70
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	60
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	13
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	R\$11,48
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	1,35E-04	1,35E-04
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	0
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	5
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	10
29	Peso médio por W consumido (kg)	5,67E-02	8,03E-02

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os dados organizados da seguinte forma:

- Tabela 39 – Inventário da solução proposta P7;
- Tabela 40 – Fluxo de caixa da proposta P7;
- Tabela 41 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P7.

Tabela 39 – Inventário da solução proposta P7.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	LED	154	120.092	18.492	6.657.210	6.990.070	12,36	1.484.412	26	3.117.265	81.643	848
2	LED	205	72.179	14.819	5.334.918	5.601.664	16,48	1.189.570	35	2.498.097	65.426	679
3	LED	72	120.385	8.651	3.114.278	3.269.992	5,77	694.416	12	1.458.273	38.193	397
4	LED	257	21.621	5.549	1.997.573	2.097.452	20,60	445.415	43	935.372	24.498	254
5	LED	154	33.503	5.159	1.857.214	1.950.074	12,36	414.118	26	869.648	22.776	236
6	LED	72	59.162	4.251	1.530.481	1.607.005	5,77	341.264	12	716.654	18.769	195
7	LED	103	45.173	4.637	1.669.421	1.752.892	8,24	372.244	17	781.713	20.473	213
8	LED	51	69.412	3.563	1.282.601	1.346.731	4,12	285.992	9	600.583	15.730	163
9	LED	411	3.090	1.269	456.778	479.617	32,96	101.852	69	213.888	5.602	58
10	LED	205	2.052	421	151.668	159.252	16,48	33.819	35	71.019	1.860	19
11	LED	72	5.030	361	130.123	136.629	5,77	29.015	12	60.930	1.596	17
12	LED	308	886	273	98.229	103.141	24,72	21.903	52	45.996	1.205	13
13	LED	154	1.093	168	60.590	63.619	12,36	13.510	26	28.371	743	8
14	LED	51	5.030	258	92.945	97.592	4,12	20.725	9	43.522	1.140	12
15	LED	103	985	101	36.402	38.222	8,24	8.117	17	17.045	446	5
16	LED	72	1.260	91	32.595	34.225	5,77	7.268	12	15.263	400	4
17	LED	205	314	64	23.208	24.369	16,48	5.175	35	10.867	285	3
18	LED	103	181	19	6.689	7.024	8,24	1.492	17	3.132	82	1
19	LED	154	24	4	1.330	1.397	12,36	297	26	623	16	0
20	LED	616	4	2	887	931	49,44	198	104	415	11	0
21	LED	154	14	2	776	815	12,36	173	26	363	10	0
22	Total:		561.490	68.155	24.535.916	25.762.712		5.470.971		11.489.040	300.903	3.124

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 40 – Fluxo de caixa da proposta P7.

t	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
In/out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40	23,40
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	54,72	60,19	60,74	60,79	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80	60,80
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66	14,66
8	-	107,66	113,04	113,31	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32	113,32
9	-	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
10	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	201,48	212,33	213,15	213,22	213,22	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85	212,85
15	-	305,00	320,25	321,01	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
18	-	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	307,77	323,02	323,78	323,82	323,82	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39	321,39
22	-	106,29	110,69	110,64	110,61	110,60	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54
23	213,37	213,37	213,37	213,37	213,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-213,37	-107,07	-102,68	-102,73	-102,76	110,60	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54	108,54
25	-213,37	-320,44	-423,12	-525,85	-628,61	-518,01	-409,46	-300,92	-192,38	-83,83	24,71	133,25	241,79	350,34	458,88	567,42	675,96	784,51	893,05	1.001,59	1.110,14
26	-213,37	-97,34	-84,86	-77,18	-70,19	68,67	61,27	55,70	50,64	46,03	41,85	38,04	34,59	31,44	28,58	25,98	23,62	21,47	19,52	17,75	16,13

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: valores em R\$ x 1.000.000.

Tabela 41 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P7.

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Resumo das emissões totais de GEE da organização

Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	14.153,000000	40.801,326068	6.744,000000	14.153,000000	40.801,326068	6.744,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				14.153,000000	40.801,326068	6.744,000000

Fonte: Elaborado pelo autor

Resultados para a Proposta 8 (P8)

Os parâmetros utilizados para a Proposta P8 estão na **Tabela 42** a seguir.

Tabela 42 – Parâmetros da proposta P8.

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
1	Quantidade de luminárias (#)	561.490,00	561.490
2	Tempo médio diário ligada (h)	12	12
3	Consumo de energia mensal (kWh)	44.054.556,48	25.281.166
4	Custo do kWh - Tarifa B4A e B4B (R\$)	R\$ 0,177	R\$0,18
5	Custo mensal da energia com iluminação (R\$)	R\$ 7.797.656,50	R\$4.474.766,36
6	Custo Operacional Anual: Energia elétrica	R\$ 93.571.877,96	R\$53.697.196,26
7	Custo Operacional Anual: Materiais (EPI, EPC, ferramentas, uniformes, veículos)	R\$ 21.360.021,71	R\$2.524.030,51
8	Custo Operacional Anual: Telegestão	R\$ 13.437.809,55	R\$2.475.321,52
9	Custo Operacional Anual: Pessoal	R\$ 29.051.571,31	R\$34.566.404,04
10	Custo Operacional Anual: Serviços (Operador Logístico, Call Center, etc.)	R\$ 43.844.930,90	R\$4.309.983,87
11	Custo Operacional Anual: Despesas com Administração (SG&A)	R\$ 35.582.348,54	R\$6.187.320,00
12	Custo Operacional Anual: Outros	R\$ 4.956.677,98	R\$13.053.048,07
14	Total do Custo Operacional (com energia)	R\$ 241.805.237,96	R\$116.813.304,27
15	Taxa de reposição anual de luminárias (%)	5	1
16	Reposição anual de materiais (R\$)	R\$ 9.826.075,00	R\$12.152.690,58
17	Tempo ligado em 1 ano (h)	4.380	4.380

continua

Tabela 42 – Parâmetros da proposta P8(continuação).

#	Dados da instalação	valor atual	Valor na proposta
18	Custos operacionais por ponto/mês	R\$ 22,00	R\$9,37
19	Entradas anuais com a COSIP e outros (OBS: CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL EFETIVA = R\$ 25.416.666,67)	R\$ 271.200.000,00	R\$305.000.000,04
20	Preço médio de uma luminária (R\$)	R\$ 350,00	R\$2.164,36
21	Preço médio sucata de alumínio (R\$/kg) fonte: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/preco-da-sucata/	R\$ 4,70	R\$4,70
22	Porcentagem de alumínio no peso da luminária (%)	40	60
23	Porcentagem no peso de lixo eletrônico (%)	5	13
24	Valor do Crédito de Carbono (ultimo leilão BM&F): EU2,70/ton. CO ₂ equiv. (cotação BC de 08/09/2015)	R\$ 11,48	R\$11,48
25	Emissões de CO ₂ equiv. Por kWh consumido em Ton. (GHG protocol, Brasil, 2014)	1,35E-04	1,35E-04
26	Demanda Reprimida (Anexo vi - Caderno de Encargos) # luminárias	76.000	0
27	Inflação anual para correção de receitas e despesas (IPCA Fipe - %)	5	5
28	Correção anual para energia elétrica (%)	10	10
29	Peso médio por W consumido (kg)	5,67E-02	8,03E-02

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os dados organizados da seguinte forma:

- Tabela 43 – Inventário da solução proposta P8;
- Tabela 44– Fluxo de caixa da proposta P8;
- Tabela 45 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P8.

Tabela 43 – Inventário da solução proposta P8.

Inventário de Janeiro de 2014 (linha de base ou situação atual)												
#	Tipo de Lâmpada /luminária	Potencia (W)	Quantidade (#)	Potência Instalada (kW)	Consumo mensal (kWh)	Consumo mensal com equipamento auxiliar e perdas (kWh+10%)	Peso da luminária com equipamento s auxiliares (kg)	Peso total por tipo de equipamento (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de 1 luminária (kg)	Emissões de CO ₂ p/ fabricação de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ tratamento de resíduos de todas luminárias (kg)	Emissões de CO ₂ p/ reciclagem de todas luminárias (kg)
1	LED	151	120.092	18.147	6.532.776	6.859.415	12,13	1.456.666	25	3.058.998	80.117	832
2	LED	201	72.179	14.542	5.235.200	5.496.960	16,17	1.167.335	34	2.451.403	64.203	667
3	LED	71	120.385	8.489	3.056.067	3.208.870	5,66	681.436	12	1.431.015	37.479	389
4	LED	252	21.621	5.445	1.960.235	2.058.247	20,22	437.090	42	917.888	24.040	250
5	LED	151	33.503	5.062	1.822.499	1.913.624	12,13	406.377	25	853.393	22.351	232
6	LED	71	59.162	4.172	1.501.873	1.576.967	5,66	334.885	12	703.258	18.419	191
7	LED	101	45.173	4.551	1.638.217	1.720.128	8,09	365.286	17	767.102	20.091	209
8	LED	50	69.412	3.496	1.258.627	1.321.558	4,04	280.646	8	589.357	15.436	160
9	LED	403	3.090	1.245	448.240	470.652	32,35	99.948	68	209.890	5.497	57
10	LED	201	2.052	413	148.833	156.275	16,17	33.187	34	69.692	1.825	19
11	LED	71	5.030	355	127.690	134.075	5,66	28.472	12	59.792	1.566	16
12	LED	302	886	268	96.393	101.213	24,26	21.494	51	45.137	1.182	12
13	LED	151	1.093	165	59.457	62.430	12,13	13.258	25	27.841	729	8
14	LED	50	5.030	253	91.207	95.768	4,04	20.337	8	42.708	1.119	12
15	LED	101	985	99	35.721	37.507	8,09	7.965	17	16.727	438	5
16	LED	71	1.260	89	31.986	33.585	5,66	7.132	12	14.978	392	4
17	LED	201	314	63	22.775	23.913	16,17	5.078	34	10.664	279	3
18	LED	101	181	18	6.564	6.892	8,09	1.464	17	3.074	80	1
19	LED	151	24	4	1.306	1.371	12,13	291	25	611	16	0
20	LED	604	4	2	870	914	48,52	194	102	408	11	0
21	LED	151	14	2	762	800	12,13	170	25	357	9	0
22	Total:		561.490	66.881	24.077.301	25.281.166		5.368.710		11.274.292	295.279	3.066

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 44 – Fluxo de caixa da proposta P8.

t	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
In/out	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
3	-	34,57	36,29	36,38	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39	36,39
4	-	53,70	59,07	59,60	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66	59,66
5	-	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31
6	-	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
7	-	2,52	2,65	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66
8	-	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05
9	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	117,18	124,41	125,04	125,10	125,10	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73	124,73
14	-	305,00	320,25	321,01	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
17	-	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	307,78	323,03	323,79	323,83	323,83	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40	321,40
21	-	190,60	198,62	198,75	198,73	198,73	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67	196,67
22	392,24	372,04	371,62	10,40	10,41	13,21	10,42	10,43	13,22	10,44	15,06	17,85	15,06	15,07	224,22	221,43	221,44	17,90	15,13	15,16	15,16
23	-392,24	-181,44	-173,00	188,35	188,33	185,53	186,25	186,24	183,45	186,23	181,61	178,83	181,61	181,60	-27,55	-24,76	-24,77	178,77	181,54	181,52	181,52
24	-392,24	-573,68	-746,69	-558,33	-370,01	-184,48	1,77	188,01	371,46	557,69	739,30	918,13	1.099,74	1.281,34	1.253,79	1.229,03	1.204,26	1.383,02	1.564,56	1.746,08	1.927,59
25	-392,24	-164,95	-142,98	141,51	128,63	115,20	105,13	95,57	85,58	78,98	70,02	62,68	57,87	52,60	-7,26	-5,93	-5,39	35,37	32,65	29,68	26,98
26	-392,24	-557,19	-700,17	-558,65	-430,03	-314,83	-209,70	-114,12	-28,54	50,44	120,46	183,13	241,00	293,60	286,35	280,42	275,03	310,40	343,05	372,73	399,71

Fonte: Elaborado pelo autor

OBS: valores em R\$ x 1.000.000.

Tabela 45 – Resumo da planilha de emissões de Gases de Efeito Estufa, segundo o GHG Protocol Brasil da proposta P8.

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Resumo das emissões totais de GEE da organização*Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos*

GEE (t)	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	14.153,000000	41.578,494183	6.744,000000	14.153,000000	41.578,494183	6.744,000000
CH ₄	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
N ₂ O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
HFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
PFCs	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
SF ₆	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
NF ₃	0,000000		0,000000	0,000000		0,000000
Total				14.153,000000	41.578,494183	6.744,000000

Fonte: Elaborado pelo autor

ANEXOS

ANEXO A - Inventário da infraestrutura de iluminação da cidade de São Paulo.....	275
--	-----

ANEXO A - Inventário da infraestrutura de iluminação da cidade de São Paulo.
(15 páginas)

REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA
Acervo - Resumo

Descrição	Quantidade
Unidades de Iluminação Pública	534.005
Sustentação	515.815
Luminárias	560.443
Lâmpadas	561.490
Condutores (metros)	12.899.741
Caixas de passagem	112.343
Transformadores	15.924

REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA
Acervo - Sustentações Instaladas

Sustentação	Quantidade	Sustentação	Quantidade
BRAÇO SP-1 3140 mm	172.824	BRAÇO SP-8	4.880
BRAÇO SP-1 2000 mm	106.625	BRAÇO SP-6	4.647
BRAÇO SP-1 3820 mm	89.082	BRAÇO SP-4	1.987
BRAÇO SP-1B 900 mm	52.812	BRAÇO SP-2 3820 mm	1.117
BRAÇO SP-1 200 mm	39.235	BRAÇO SP-2 3140 mm	1.004
BRAÇO SP-1B-0 2200 mm	10.488	BRAÇO SP-1B-0 200 mm	917
BRAÇO SP-1B-I 2200 mm	8.736	BRAÇO SP-2 2000 mm	309
BRAÇO SP-1 800 mm	8.477	BRAÇO SP-2 200 mm	146
OUTRO	6.691	BRAÇO SP-2 800 mm	87
BRAÇO SP-1B-I 200 mm	5.751		
Total: 515.815			

REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA
Acervo - Luminárias Instaladas

Luminária	Quantidade	Luminária	Quantidade
LP-1	104.942	LP-4	2.492
LP-28-E	101.876	LP-17	1.496
LP-27-E	97.669	LP-19	1.322
LP-1B	76.327	UO-XVI	1.002
LP-29-E	56.223	UO-XXVI	761
OUTROS	18.917	LP-11	575
LP-29-E/70	17.428	UO-XIII	563
LP-1BI	16.621	UO-XV	411
LP-26-E	16.269	US-25	352
LP-1B0	14.508	UO-XIV	246
LED	10.060	UO-XVIII	25
LP-26	8.632	UO-XXIV	17
LP-1-0	7.090	UO-XXIII	4
LP-21	4.615		
Total: 560.443			

REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA
Acervo - Lâmpadas Instaladas

Tipo/Potência	Quantidade	Tipo/Potência	Quantidade
Vapor de Sódio-100	120.385	OUTRO	2.052
Vapor de Sódio-250	120.092	Vapor Metálico-100	1.260
Vapor de Mercúrio-400	72.179	Vapor Metálico-250	1.093
Vapor de Sódio-70	69.412	Vapor Metálico-150	985
Vapor de Mercúrio-125	59.162	Vapor Metálico-400	886
Vapor de Sódio-150	45.173	Vapor Metálico-315	314
Vapor de Mercúrio-250	33.503	Vapor Metálico-140	181
Vapor de Sódio-400	21.621	Vapor Metálico-210	24
LED	10.060	Vapor Metálico-200	14
Vapor de Sódio-600	3.090	Vapor Metálico-1000	4
Total:		561.490	

REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA
Acervo - Condutores Instalados

Tipo de Condutor	Quantidade (metros)	Tipo de Condutor	Quantidade (metros)
MULTIPLEX-16 MM2-DUPLEX	7.790.584	PVC PRETO-25 MM2-COBRE	356.063
MULTIPLEX-16 MM2-TRIPLEX	1.899.350	PVC PRETO-16 MM2-COBRE	167.963
PVC VERDE-6 AWG-COBRE	1.473.812	PVC PRETO-10 MM2-ALUMÍNIO	81.802
PVC PRETO-6 AWG-COBRE	686.992	OUTRO	64.902
PVC PRETO-35 MM2-COBRE	378.273		
Total: 12.899.741			

REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA
Acervo - Transformadores Instalados

Transformadores	
Potência	Quantidade
10 kVA	13.229
8 kVA	1.228
15 kVA	1.020
25 kVA	391
5 kVA	56
Total:	15.924

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
LP-1B	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator de vidro boro-silicato ou grade e alojamento para equipamento auxiliar ou com reator externo. Lâmpadas: VM125 e VS70
LP-1B0	Luminária aberta, corpo refletor estampado em chapa de alumínio anodizado, com ou sem grade, instalada em poste de concreto da concessionária ou poste metálico (ex: vielas) e reator externo. Lâmpadas: VM125
LP-1BI	Luminária aberta, com ou sem grade, corpo refletor em chapa de alumínio anodizado, instalada em poste de concreto da concessionária ou poste metálico (ex: vielas), reator externo e ignitor em alojamento para ignitor. Lâmpadas: VS70
LP-1-0	Luminária fechada, fabricada em chapa de alumínio anodizado, com refrator prismático em vidro boro-silicato, reator de uso externo e ignitor abrigado em adaptadora intercalada entre a luminária e o braço. Lâmpadas: VM250 e VS-150-250
LP-1	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, com refrator prismático em vidro boro-silicato, reator de uso externo e ignitor abrigado em adaptadora intercalada entre a luminária e o braço. Lâmpadas: VM250-400 e VS-150-250
LP-1-E	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em vidro boro-silicato e alojamento para equipamento auxiliar. Lâmpadas: VM250-400 e VS-150-250

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
LP-4	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator prismático em vidro boro-silicato ou vidro plano, suspensa por tirante fixado em postes de concreto da concessionária ou fachada de edifícios, utilizada também sob os viadutos, reator de uso externo, ignitor preso ao suporte do tirante. Lâmpadas: VM250-400 e VS-150-250
LP-10	Luminária fechada, base de alumínio fundido, para quatro lâmpadas, difusor de plástico leitoso e reator de uso subterrâneo. Lâmpadas: VM250-400 e VS150-250
LP-11 /LP-15	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em acrílico, alojamento para equipamentos auxiliares, duas lâmpadas por pétala. Lâmpadas: VM400 e VS-250-400
LP-13	Projeto de fecho concentrado sem compartimento para equipamento (ex: Largo São Francisco). Lâmpadas: VS-2x400
LP-14	Projeto em liga de alumínio sem compartimento para equipamento, refrator em vidro temperado plano incolor e reator de uso subterrâneo ou externo (ex. Museu do Ipiranga). Lâmpadas: VM250-400 e VS250-400

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
LP-16	<p>Projeto de fecho concentrado, refletor repuxado em chapa de alumínio polido internamente e anodizado, refrator em vidro temperado plano incolor, reator externo ou subterrâneo (ex: Viaduto do Chá).</p> <p>Lâmpadas: VM400 e VS 400</p>
LP-17	<p>Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, e difusor moldado em acrílico, uma lâmpada por pétala, alojamento para equipamento auxiliar.</p> <p>Lâmpadas: VM400 ou VS -250/400</p>
LP-18	<p>Projeto em liga de alumínio, fecho aberto, refletor em chapa de alumínio anodizado, refrator em vidro borossilicato[, com alojamento para equipamento auxiliar (ex: Viaduto Jaceguai e Passagem do Largo Padre Péricles).</p> <p>Lâmpadas: VS250</p>
LP-19	<p>Projeto de fecho aberto, refletor em chapa de alumínio anodizado, refrator em vidro temperado plano incolor, com alojamento para equipamento auxiliar (ex: Praça Patriarca).</p> <p>Lâmpadas: VS250/VS400 VMET 150/200</p>
LP-21	<p>Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator prismático de vidro boro-silicato, com alojamento para equipamento auxiliar.</p> <p>Lâmpadas: VS250-400</p>
LP-22	<p>Projeto de alumínio fundido, refletor repuxado em chapa de alumínio polido internamente e anodizado, refrator em vidro temperado plano incolor, com alojamento para equipamento auxiliar (ex: Museu do Ipiranga).</p> <p>Lâmpadas: VS 70</p>

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
LP-26	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em vidro temperado plano, reator externo e ignitor em alojamento aberto. Lâmpadas: VS150-250-400
LP-26-E	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em vidro temperado plano, com alojamento para equipamento auxiliar. Lâmpadas: VS250-400
LP-27-E	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em vidro temperado plano, com alojamento para equipamento auxiliar. Lâmpadas: VS150-250
LP-28-E	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em vidro temperado plano, com alojamento para equipamento auxiliar. Lâmpadas: VS100-150
LP-29-E	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em vidro temperado plano, com alojamento para equipamento auxiliar. Lâmpadas: VS100-150
LP-29-E/70	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em vidro temperado plano, com alojamento para equipamento auxiliar. Lâmpadas: VS70

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
US-25	Luminária fechada, fabricada em liga de alumínio fundido, refrator em acrílico, quatro lâmpadas por pétalas, com alojamento para equipamentos auxiliares (ex: Vale do Anhangabaú). Lâmpadas: VM400- e VS250-400
UO-1	Luminária decorativa, em acrílico leitoso, com equipamento auxiliar alojado no suporte (canga) (ex: bairro oriental). Lâmpadas: VM125, VS70 e VMET 100.
UO-XIII	Unidade Ornamental tipo XIII, composta de um conjunto óptico, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou metálica, equipamento auxiliar e alimentação elétrica subterrânea. Lâmpadas: VS150-250, VM250 e VMET 150.
UO-XIV	Unidade Ornamental tipo XIV, composta de um conjunto óptico, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou metálica ou mercúrio, equipamento auxiliar, montada sobre braço lateral e alimentação elétrica subterrânea. Lâmpadas: VS250, VM-400 e VMET-250

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
UO-XV	<p>Unidade Ornamental tipo XV, composta de dois conjuntos ópticos, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou metálica ou mercúrio, equipamento auxiliar e alimentação elétrica subterrânea.</p> <p>Lâmpadas: VS-250, VM-400 e VMET 250</p>
UO-XVI	<p>Unidade Ornamental tipo XVI, composta de três conjuntos ópticos, polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou metálica ou mercúrio, equipamento auxiliar e alimentação elétrica subterrânea.</p> <p>Lâmpadas: VS-250, VM-400 e VMET-250</p>
UO-XVIII	<p>Unidade Ornamental tipo XVIII, composta de cinco conjuntos ópticos, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou metálica ou mercúrio, equipamento auxiliar e alimentação elétrica subterrânea.</p> <p>Lâmpadas: VS-150, VM-250 e VMET 150</p>
UO-XXIV	<p>Unidade Ornamental tipo XXIV, composta de um conjunto óptico, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou metálica ou mercúrio, equipamento auxiliar, base de fixação em mureta e alimentação elétrica subterrânea.</p> <p>Lâmpadas: VS-150, VM-250 e VMET-150</p>

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
UO-XXVI	<p>Unidade Ornamental tipo XXVI, composta de dois conjuntos ópticos, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio, equipamento auxiliar e alimentação elétrica subterrânea.</p> <p>Lâmpadas: VS-250, VM-400 e VMET-250</p>
PROJETOR	<p>Projetor em liga de alumínio sem compartimento para equipamento, refrator em vidro temperado plano incolor e reator de uso subterrâneo ou externo (ex: Museu do Ipiranga).</p> <p>Lâmpadas: VS250</p>
UO – ESPECIAL 1	<p>Unidade Ornamental tipo especial composta de dois conjuntos ópticos, luminária em chapa de alumínio, globo em vidro leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálico, reator subterrâneo ou equipamento auxiliar e alimentação elétrica subterrânea (ex: Praça Ramos de Azevedo e Museu do Ipiranga).</p> <p>Lâmpadas: VS-150, VM-250 e VMET-150</p>
UO – ESPECIAL 2	<p>Unidade Ornamental tipo especial composta de seis conjuntos ópticos, luminária em chapa de alumínio, globo em vidro leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálico, reator subterrâneo ou equipamento auxiliar e alimentação elétrica subterrânea (ex: Praça Ramos de Azevedo).</p> <p>Lâmpadas: VS-150, VM-250 e VMET-150</p>

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
UO – ESPECIAL 3	<p>Unidade Ornamental tipo especial composta de três conjuntos ópticos, globo em vidro leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálico, reator subterrâneo e alimentação elétrica subterrânea (ex: Teatro Municipal).</p> <p>Lâmpadas: VS-150, VM-250 e VMET-150</p>
UO – ESPECIAL 4	<p>Unidade Ornamental tipo especial, composta de três conjuntos ópticos, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálico, reator interno, base de fixação tipo espelho na fachada e alimentação elétrica subterrânea (ex: Museu do Ipiranga).</p> <p>Lâmpadas: VS-150</p>
UO – ESPECIAL 5	<p>Unidade Ornamental tipo especial, composta de dois conjuntos ópticos, globo em vidro leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálico, reator em caixa de inspeção, pedestal e alimentação elétrica subterrânea (ex: Museu do Ipiranga).</p> <p>Lâmpadas: VS-150</p>
UO – ESPECIAL 6	<p>Unidade Ornamental tipo especial, composta de dois conjuntos ópticos, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálico, reator em caixa de inspeção, pedestal e alimentação elétrica subterrânea (ex: Museu do Ipiranga).</p> <p>Lâmpadas: VS-150</p>

CATÁLOGO DE LUMINÁRIAS

TIPO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
UO – ESPECIAL 7	<p>Unidade Ornamental tipo especial, composta de quatro conjuntos ópticos, refletor, globo em vidro leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálica, reator em caixa de inspeção, pedestal e alimentação elétrica subterrânea (ex: Museu do Ipiranga).</p> <p>Lâmpadas: VS-150</p>
UO – ESPECIAL 8	<p>Unidade Ornamental tipo especial composta de cinco conjuntos ópticos, refletor, globo em vidro leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálica, reator em caixa de inspeção e alimentação elétrica subterrânea (ex: Museu do Ipiranga).</p> <p>Lâmpadas: VS-150</p>
UO – ESPECIAL 9	<p>Unidade Ornamental tipo Canadense composta de dois conjuntos ópticos, globo em polietileno leitoso, lâmpada vapor de sódio ou mercúrio ou metálica, reator em caixa de inspeção e alimentação elétrica subterrânea (ex: Praça Cidade de Toronto).</p> <p>Lâmpadas: VS-250</p>