

FABIO LUIS ALVES MARMO

ANÁLISE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM MEIOS DE TRANSPORTE
ELÉTRICOS PARA OS COLABORADORES DE EDIFÍCIO CORPORATIVO

SÃO PAULO

2016

FABIO LUIS ALVES MARMO

ANÁLISE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM MEIOS DE TRANSPORTE
ELÉTRICOS PARA OS COLABORADORES DE EDIFÍCIO CORPORATIVO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Energia Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética

Orientador: Prof. Dr. Daniel S. Sowmy

SÃO PAULO

2016

FABIO LUIS ALVES MARMO

ANÁLISE DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM MEIOS DE TRANSPORTE
ELÉTRICOS PARA OS COLABORADORES DE EDIFÍCIO CORPORATIVO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Energia Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética

Área de Concentração: Energias
Renováveis, Mobilidade Urbana

Orientador: Prof. Dr. Daniel S. Sowmy

SÃO PAULO

2016

Dedico este trabalho ao Mundo Melhor.

AGRADECIMENTOS

A Deus e toda a Energia em todas as suas manifestações e transformações neste Universo.

A dedicação e suporte de minha Esposa, Amanda Siqueira Marmo, nestes três anos de casamento, num total de dez anos de relacionamento.

Aos meus pais por toda a disciplina e educação dada em toda a minha vida.

Aos professores e mestres do curso de Energias Renováveis pela orientação, pelo estímulo e por toda a experiência compartilhada.

Ao Itaú Unibanco S.A., empresa aonde desenvolvo minhas atividades e por sua visão de um futuro aonde tecnologias renováveis em energia irão mudar o mundo.

Aos meus amigos e a todos que colaboraram de forma direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará a seu tamanho original.
(Albert Einstein)

RESUMO

Esta monografia tem por objetivo caracterizar uma edificação corporativa localizada na cidade de São Paulo, quantificando seu potencial para geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos. Em paralelo serão estudadas soluções de mobilidade urbana usando meios de transporte elétrico para locomoção dos colaboradores desta mesma empresa. A união destes dois pensamentos irá resultar em um grande benefício para o meio ambiente, pois será possível estimar a participação da substituição dos veículos automotores movidos a combustível fóssil por meios de transportes elétricos, cuja geração de energia é de fonte solar.

A motivação para a realização deste estudo é resultado direto do meio e do tempo que se vive. Uma capital, metrópole urbana, com enormes desafios a serem superados com relação à mobilidade de seus cidadãos. Um País que viu sua tarifa de energia elétrica subir “inesperadamente” no período de 2013 a 2015, recorrendo e viabilizando projetos de fontes alternativas e geração distribuída. E por fim um Planeta, que sobrevive, na última década, a extremos climáticos.

Deste modo, no primeiro capítulo será revisada a bibliografia e busca-se apresentar conceitos chave de energia elétrica fotovoltaica, mobilidade urbana e meios de transporte elétrico, que possam guiar o leitor para a completa compreensão do desenvolvimento prático, com a quantificação do potencial fotovoltaico, premissas utilizadas para o deslocamento dos colaboradores e meios de transporte sugeridos.

Na sequência discorre-se sobre os resultados obtidos e potencial viabilidade do estudo, apresentando com os impactos e oportunidades identificados. Chegando assim a conclusão da alta potencialidade da utilização ou compensação da geração fotovoltaica para meios de transporte elétricos em função do abono de carbono gerado ao meio ambiente.

Palavras Chave: energia solar fotovoltaica, mobilidade urbana, transporte elétrico.

ABSTRACT

This paper aims to characterize a corporate building in the city of São Paulo, quantifying their potential to generate electricity from photovoltaic panels. In parallel we will study urban mobility solutions using electric means of transport for transportation of employees of the same company. The union of these two thoughts will result in a great benefit to the environment, it will be possible to estimate the share of replacement of motor vehicles powered by fossil fuels by electric means of transport, whose power generation is solar source.

The motivation for this study is a direct result of the environment and the time that we live. A capital, urban metropolis with enormous challenges to overcome with regard to the mobility of its citizens. A country that has seen its electricity tariff rise "unexpectedly" from 2013 to 2015, using and enabling design alternatives and distributed generation sources. Finally a Planet, which survives in the last decade, climate extremes.

Thus, the first chapter will be reviewed the literature and seeks to present key concepts of photovoltaic electricity, urban mobility and electric means of transport, which can guide the reader to the complete understanding of the practical development, quantifying the photovoltaic potential, assumptions used for the movement of transport employees and media suggested.

In sequence to talks about the results and potential feasibility study presenting the impacts and opportunities identified. thus arriving at completion of the high potential of using photovoltaic generation and compensation for electrical transport from the carbon allowance generated to the environment.

Keywords: photovoltaic solar energy, urban mobility, electric transportation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Variação de ângulo da Terra ao longo do ano (HINRICHS, 2014).....	25
Figura 2: Variação de ângulo do Sol em relação a observador na Terra (HINRICHS, 2014).....	25
Figura 3: Curva de insolação diária (DUFFIE, 2006).....	26
Figura 4: Junção “p-n” de semicondutores de célula fotovoltaica (HINRICHS, 2014).....	27
Figura 5: Evolução do custo unitário em dólar americano por Watt de células fotovoltaicas (BLOOMBERG, 2016).....	29
Figura 6: Relação entre IDH e Consumo de Energia per capita.....	32
Figura 7: Estimativa de Participação de Energia Renovável no consumo Global de 2013 (REN21, 2015).....	32
Figura 8: Histórico do desvio padrão de temperatura em °C (HINRICHS, 2014)...	33
Figura 9: Histórico da concentração de CO2 em ppm na atmosfera (HINRICHS, 2014).....	33
Figura 10: Participação por fonte na Matriz Elétrica Brasileira (PDE, 2015).....	37
Figura 11: Comparação entre a evolução de potencia elétrica e volume de reservatório.....	37
Figura 12: Acréscimo de Potencia na Matriz Brasileira (Contratada e Planejada) por fonte (PDE, 2014).....	40
Figura 13: Acréscimo anual de capacidade instalada por fonte (PDE, 2014).....	40
Figura 14: Resultados dos últimos 5 Leilões de Energia Nova (CCEE, 2016).....	40
Figura 15: Visão da faixa equatorial da Terra.....	42
Figura 16: Capacidade Mundial instalada de Energia Solar Fotovoltaica (REN21, 2015).....	43
Figura 17: Competição de automóveis com pedestres (GEHL, 2015).....	46
Figura 18: Espaço urbano voltado para pedestres (GEHL, 2015).....	46
Figura 19: Via Embarcadero, São Francisco (antes) (GEHL, 2015).....	47
Figura 20: Via Embarcadero, São Francisco (depois) (GEHL, 2015).....	47
Figura 21: Evolução no tráfego Londrino com a adoção de pedágio (GEHL, 2015).....	47
Figura 22: Modelo esquemático de veículos elétricos em comercialização (EPRI, 2016).....	49
Figura 23: Evolução e expectativas de custos com bateria para armazenagem de energia elétrica (POUPAMELHOR, 2016).....	54

Figura 24: Expectativa de penetração do veículo elétrico PDE 2023.....	54
Figura 25: Expectativa de penetração do veículo elétrico PDE 2024.....	54
Figura 26: Ônibus BYD em funcionamento em Campinas.....	56
Figura 27: Vista em mapa da região do empreendimento (GOOGLE, 2016).....	59
Figura 28: Vista em satélite da região do empreendimento (GOOGLE, 2016).....	59
Figura 29: Vista identificada de blocos do empreendimento.....	60
Figura 30: Vista em maquete virtual do empreendimento.....	61
Figura 31: Vista em bloco tridimensional do empreendimento.....	61
Figura 32: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/mar 09h).....	63
Figura 33: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/mar 15h).....	63
Figura 34: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/jun 09h).....	63
Figura 35: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/jun 15h).....	63
Figura 36: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/set 09h).....	63
Figura 37: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/set 15h).....	63
Figura 38: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/dez 09h).....	63
Figura 39: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/dez 15h).....	63
Figura 40: Classificação Energética.....	64
Figura 41: Vista do posicionamento de 1 painel.....	68
Figura 42: Vista do posicionamento e arranjo construtivo dos painéis.....	68
Figura 43: Vista panorâmica da Área A1.....	68
Figura 44: Vista panorâmica da Área A2.....	68
Figura 45: Vista panorâmica da Área A3.....	68
Figura 46: Vista panorâmica da Área A4.....	68
Figura 47: Vista panorâmica da Área A5.....	68
Figura 48: Vista panorâmica da Área A6.....	68
Figura 49: Vista panorâmica da Área A7.....	68
Figura 50: Vista panorâmica do empreendimento ao meio-dia.....	70
Figura 51: Vista panorâmica do empreendimento ao amanhecer.....	70
Figura 52: Vista panorâmica do empreendimento ao entardecer.....	70
Figura 53: Radiação solar global diária (média anual) em MJ/m ² .dia.....	75
Figura 54: Insolação Diária (média anual) em horas.....	75
Figura 55: Trajeto do Fretado.....	80
Figura 56: Visão dos estacionamentos.....	81
Figura 57: Circunvizinhança viária do empreendimento.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução do consumo energético do homem.....	23
Gráfico 2: Evolução da participação por fonte geradora de CO2 no Mundo.....	35
Gráfico 3: Evolução da quantidade de CO2 por fonte geradora no Mundo.....	35
Gráfico 4: Evolução da participação por fonte geradora de CO2 no Brasil.....	36
Gráfico 5: Evolução da quantidade de CO2 por fonte geradora no Brasil.....	36
Gráfico 6: ENA e Capacidade de Reservatório – Subsistema Sudeste.....	38
Gráfico 7: ENA e Capacidade de Reservatório – Subsistema Sul.....	38
Gráfico 8: ENA e Capacidade de Reservatório – Subsistema Nordeste.....	39
Gráfico 9: ENA e Capacidade de Reservatório – Subsistema Norte.....	39
Gráfico 10: Comparação de faixas de insolação solar média.....	42
Gráfico 11: Quantidade de conexões por fonte no Brasil ao final de 2015.....	43
Gráfico 12: Distribuição das conexões no Brasil por UF.....	44
Gráfico 13: Evolução das conexões de energia solar fotovoltaica no Brasil.....	44
Gráfico 14: Comparação de expectativa de penetração do veículo elétrico.....	55
Gráfico 15: Média mensal de licenciamentos de veículos.....	58
Gráfico 16: Evolução da média mensal de licenciamentos de veículos elétrico.....	58
Gráfico 17: Perfil horário diário médio de consumo de energia elétrica ao longo do ano de 2015.....	71
Gráfico 18: Perfil horário diário médio do ano de 2015.....	72
Gráfico 19: Distribuição de Faixa de Potência por horário.....	73
Gráfico 20: Probabilidade de Faixa de Potência por horário.....	73
Gráfico 21: Irradiação solar diária média mensal.....	74
Gráfico 22: Irradiação solar diária média mensal.....	74
Gráfico 23: Simulação Mensal de Energia Elétrica do Empreendimento.....	77
Gráfico 24: Simulação de Perfil Horário.....	79
Gráfico 25: Relação entre bateria e autonomia de veículos elétricos.....	85
Gráfico 26: Relação entre bateria e consumo de veículos elétricos.....	85
Gráfico 27: Resumo Cenário 1.....	91
Gráfico 28: Resumo Cenário 2.....	93
Gráfico 29: Tonelada de CO2 eq. evitado por Cenário.....	97
Gráfico 30: Comparação de Payback entre os cenários e preços de t.CO2 simulados.....	101

Gráfico 31: Comparação de TIR entre os cenários e preços de t.CO2 simulados 101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Eficiência conforme o material de fabricação (ALDABO, 2002).....	29
Tabela 2: Lista dos gráficos de ENA e Capacidade de Reservatório.....	38
Tabela 3: Siglas de veículos em comercialização.....	49
Tabela 4: Vantagens e dados operativos de veículos elétricos.....	50
Tabela 5: Avaliação qualitativa de tipos de motores elétricos para uso em veículos (CHAUD, 2013).....	52
Tabela 6: Autonomia estimada por tipo de veículo elétrico (CASTRO, 2015).....	53
Tabela 7: Custos estimados com bateria para armazenagem de energia elétrica (CASTRO, 2015).....	53
Tabela 8: Dados técnicos do ônibus BYD k11.....	57
Tabela 9: Média mensal de licenciamentos de veículos por tipo de motorização.....	57
Tabela 10: Detalhe de Dimensão e Localização dos blocos do empreendimento.....	60
Tabela 11: Lista de Figuras de simulações de sombreamento.....	62
Tabela 12: Quantidade de Painéis Válidos por Classificação Energética.....	65
Tabela 13: Quantidade de painéis por classificação energética.....	65
Tabela 14: Comprimento de painéis com potência entre 201 e 300 W.....	66
Tabela 15: Largura de painéis com potência entre 201 e 300 W.....	66
Tabela 16: Material de Composição dos painéis.....	66
Tabela 17: Faixa de Eficiência do Painel por Material de Composição.....	67
Tabela 18: Quantificação dos arranjos e total de painéis instalados.....	69
Tabela 19: Irradiação solar diária média mensal.....	73
Tabela 20: Resumo de geração de energia elétrica, através da insolação e eficiência do painel solar.....	76
Tabela 21: Dados da Simulação Mensal de Energia Elétrica do Empreendimento.....	77
Tabela 22: Simulação de perfil horário.....	78
Tabela 23: Meios de transporte utilizados e sua volumetria.....	79
Tabela 24: Deslocamento médio por meio de transporte.....	80
Tabela 25: Tabela de Potencial de Alerta Global (IPCC, 2006).....	83
Tabela 26: Fator de Emissão (FE) de poluentes por combustível (IPCC, 2006).....	83
Tabela 27: Fator de Emissão (FE) em CO ₂ equivalente.....	83
Tabela 28: Desempenho dos meios de transporte.....	84

Tabela 29: Potencial Poluidor em CO2 equivalente.....	84
Tabela 30: Fabricantes e Modelos de Veículos Leves Elétricos.....	84
Tabela 31: Dados de fichas técnicas de veículos elétricos.....	85
Tabela 32: Descrição dos Cenários simulados para implantação de energia solar	86
Tabela 33: Resumo do Investimento em Painéis Solares.....	88
Tabela 34: Resumo do Investimento do Cenário 1.....	89
Tabela 35: Resumo do Custo evitado Cenário 1.....	90
Tabela 36: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica do Cenário 1.....	90
Tabela 37: Fluxo de Caixas do Cenário 1.....	91
Tabela 38: Consumo de energia com Meios de Transporte Elétrico.....	92
Tabela 39: Resumo do investimento do Cenário 2.....	92
Tabela 40: Resumo do Custo evitado Cenário 2.....	93
Tabela 41: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica do Cenário 2.....	93
Tabela 42: Fluxo de Caixas do Cenário 2.....	94
Tabela 43: Resumo do Investimento Cenário 3.....	95
Tabela 44: Resumo do Custo evitado Cenário 3.....	95
Tabela 45: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica do Cenário 3.....	95
Tabela 46: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica dos Cenários.....	96
Tabela 47: CO2 eq. produzido em cada Cenário.....	97
Tabela 48: Mercados de CO2 eq. no Mundo (OBSERVATORIO DO CLIMA, 2016)	98
Tabela 49: Resultado Financeiro do CO2 eq. evitado.....	99
Tabela 50: Dados da simulação de fluxo de caixa considerando crédito de carbono	100
Tabela 51: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica e Ambiental dos Cenários	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

'	Minutos
"	Segundos
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
BEV	Battery Electrical Vehicle - Veículo Elétrico a Bateria
BOS	Balance of System
cm ²	Centímetro quadrado
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ eq.	Dióxido de Carbono equivalente
ENA	Energia Natural Afluente
FV	Fotovoltaica
GWP	Global Warming Potential - Potencial de Alerta Global
HEV	Híbrido Electrical Vehicle - Veículo Híbrido Elétrico
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kcal	Quilocaloria
kJ	Quilojoule
km	Quilometro
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
kWh/m ² .dia	Quilowatt por metro quadrado em um dia
m	Metro
m/s	Metros por segundo
m ²	Metro quadrado
mA	Mili Ampere
mA/cm ²	Mili Ampere por centímetro quadrado
MJ/m ² .dia	Megajoule por metro quadrado em um dia
MLT	Média de Longo Termo
μm	Micrometro
mm	Milímetro
MtCO ₂ e	Megatonelada de CO ₂ equivalente
MW	Megawatt
°	Graus
ONS	Operador Nacional do Sistema

PDE	Plano Diretor Energético
PHEV	Plug In Hibrid Eletrical Vehicle - Veiculo Hibrido Elétrico Plug In
REEV	Range Extended Eletrical Vehicle - Veiculo Elétrico de Range Estendido
REN	Resolução Normativa
SiO ₂	Dióxido de Silício, ou Sílica
US\$	United States Dollar - Dólar Americano
V	Volts
W	Watt
W/m ²	Watt por metro quadrado

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	19
1. REVISÃO DA LITERATURA	21
1.1 Energia	21
1.1.1 O que é Energia.....	21
1.1.2 Histórico.....	22
1.2 Energia Solar	24
1.2.1 Conversão, Tecnologia e Aplicação.	26
1.2.2 Metodologia de Dimensionamento	29
1.2.3 Energia e Meio Ambiente	31
1.3 Meio Ambiente.....	33
1.3.1 O que é Meio Ambiente	33
1.3.2 Carbono Equivalente	34
1.4 Matriz Elétrica Brasileira	36
1.4.1 Energia Solar no Brasil	41
1.5 Meio Ambiente e Cidades.....	45
1.5.1 Mobilidade Urbana.....	45
1.6 Meios de Transporte Elétrico	48
1.6.1 O que é Meio de Transporte Elétrico	49
1.6.2 Motores Elétricos	51
1.6.3 Armazenamento de Energia	52
1.6.4 Tecnologia e Evolução	54
1.7 Soluções em mobilidade urbana com motorização elétrica.....	55
2. MATERIAIS E MÉTODOS	59

2.1	Caracterização da Edificação	59
2.2	Potencial Solar Fotovoltaico	60
2.2.1	Seleção do painel solar	64
2.2.2	Detalhamento das áreas e Painéis Solares	67
2.3	Simulações da Energia Elétrica	70
2.3.1	Carga Elétrica do Prédio	70
2.3.2	Geração Elétrica Fotovoltaica	73
2.4	Potencial de Mobilidade Urbana	79
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
3.1	Simulação do Cenário 1	87
3.2	Simulação do Cenário 2	92
3.3	Simulação do Cenário 3	94
3.4	Análise dos Cenários	95
4.	CONCLUSÕES	102
	REFERÊNCIAS	106

INTRODUÇÃO

O meio ambiente reage, na mesma intensidade e sentido oposto aos abusos que nós o impactamos.

A necessidade energética de cada ser humano nunca foi tão grande quanto é hoje, e é certo que será maior amanhã.

As cidades são cada vez maiores, os centros urbanos se aglutinam, e os veículos se amontam. O deslocamento, a liberdade e a qualidade de vida, todas tão almejadas, se tornam mais distantes.

Voltamos ao paragrafo inicial desta introdução.

O círculo vicioso se torna virtuoso?

Existe luz. Não no fim do túnel, mas ela brilha no céu. É para todos!

A energia renovável é a promessa que vem tornando-se realidade nesta segunda metade da década de 2010.

Nesta monografia vamos apresentar no primeiro capítulo uma revisão bibliográfica sobre conceitos de energia, como se tornou cada vez mais necessária ao longo da história. Focamos e nos aprofundamos na energia solar, e como transforma-la em energia elétrica. Visitamos exemplos concretos e reais de sua aplicação que irão guiar nosso dimensionamento.

Passamos a explorar a relação e impacto da energia no meio ambiente. Depois desta interface, definimos de forma ampla o Meio Ambiente, e seguimos delimitando o nosso meio através da matriz energética brasileira, a contextualização da energia solar no Brasil, a poluição através do conceito de carbono equivalente, e delimitamos a fronteira da cidade.

Dentro da cidade exploramos a mobilidade com exemplos práticos de ações que geraram resultados em grandes cidades do mundo. A mobilidade nos guia para a seção de transporte. Lá iremos definir os veículos elétricos, e na sequencia discorrer sobre os sistemas básicos dos meios de transporte elétrico: o sistema de propulsão (o motor) e o armazenamento (bateria).

Com a base estruturada, damos sequência a exploração de uma solução simples, mas não simplista. Uma avaliação de uma solução que torne em realidade a expansão da energia renovável e a melhoria da mobilidade urbana, conseqüentemente a melhoria de nosso meio ambiente.

Através de trabalhosa modelagem e caracterização da edificação, com dimensionamento do potencial solar e cálculos de energia elétrica gerada a partir de fonte solar, irá se sugerir seu consumo com carregamento de meios de transporte elétrico.

Ao contrário da continua sugestão para uso das demandas já elétricas de uma edificação, como por exemplo, iluminação ou climatização, o grande viés ambiental estará na substituição da energia fóssil dos meios de transporte por energia elétrica. Subsidiando o transporte de massa elétrico, fomentando o mercado automotivo elétrico e incentivando a população a aderência ao transporte leve com motorização elétrica, por exemplo, bicicletas.

Cenários serão propostos e apresentados seus desdobramentos baseados em edificação corporativa na zona leste de São Paulo com população de aproximadamente 5.000 pessoas.

O grande viés ambiental será quantificado, a viabilidade técnica da instalação também. Por fim a discussão se dará no ambiente financeiro aonde irá pôr a prova e confrontar o apelo sustentável ambiental com o econômico.

Em resumo o objetivo desta monografia será apresentar revisão da literatura para sustentar o tema proposto, trazendo a todos os leitores, material bibliográfico de autores e publicações especializados em sua área de atuação. Desenvolver e caracterizar os elementos da edificação, os equipamentos e sistema solar fotovoltaico e os potenciais meios de transporte, com dimensionamento das variáveis pertinentes, mostrando a linha de raciocínio adotada e evidenciando os resultados obtidos. E comparar e discorrer sobre os resultados obtidos individualmente por cenário. Apresentando estudos de viabilidade econômica e incorporando o viés ambiental, evidenciando seu impacto econômico e ambiental.

1. REVISÃO DA LITERATURA

Neste ponto de partida a revisão da literatura tem o objetivo de sustentar o tema proposto, trazendo a todos os leitores, material bibliográfico de autores e publicações especializados em sua área de atuação. A organização desta coletânea de conhecimento irá subsidiar o entendimento e desdobramento das análises e simulações que se propõem nos próximos capítulos.

1.1 Energia

Na abertura do capítulo 1 de Termodinâmica de Çengel ele cita a dificuldade de uma definição exata para energia, muito embora toda pessoa tenha uma ideia do que seja.

Já definido na literatura por Clarice Lispector: “O mais importante é a mudança, o movimento, o dinamismo, a energia. Só o que está morto não muda!”.

O filósofo e mestre em meditação Osho a descreveu como: “Em si, a vida é neutra. Nós a fazemos bela, nós a fazemos feia; a vida é a energia que trazemos a ela.”

E a espiritualista Zibia Gasparetto: “Não se esqueça de que seu corpo físico é apenas energia condensada por tempo determinado, que se transforma a cada minuto”.

Embora estas citadas transcendam o mundo exato e cartesiano da engenharia, todas traduzem de maneira poética a profundidade do conceito de energia e o quão ela é importante.

1.1.1 O que é Energia

A energia existe desde a criação do universo. A termodinâmica origina-se e define-se como a ciência da energia a partir dos primeiros motores no século XVIII. Ela nasce dos primeiros esforços da interpretação e equacionamento da transferência de calor, do grego *therme* (calor) e *dynamis* (movimento).

Seus estudos iniciam-se na Primeira Lei da Termodinâmica para sua interpretação como propriedade e seu princípio de conservação, e estende-se para a

Segunda Lei da Termodinâmica para seu tratamento como qualidade ou quantidade dos processos que ocorrem na natureza.

Desta forma a energia manifesta-se ao nosso redor de diversas formas, seja térmica, mecânica, cinética, potencial, elétrica, magnética, química e nuclear. (ÇENGEL, 2006)

Sendo que a cada dia buscamos mais usos e aperfeiçoamentos de sua transferência.

1.1.2 Histórico

No início da humanidade a forma de energia dominante era a endossomática, ou simplesmente a muscular. A busca de alimentação para sobrevivência consumia 2.000 kcal/dia e basicamente isto determina o consumo de energia do homem caçador.

Percorrendo os séculos até o século XVIII o recurso energético que nos acompanhou foi à madeira em função da descoberta do fogo. Inicialmente na alimentação e aquecimento de conforto e sobrevivência, evoluindo como combustível para refino e confecção de objetos.

Citando Reis, 2012 o uso da energia mecânica exossomática tem um maior aproveitamento a partir do século X com o uso de moinhos de vento e rodas d'água. A utilização de animais para o transporte e trabalho também constituía como uma das principais fontes de energia. Definindo assim o homem da primeira metade do século XVIII com um consumo em torno de 40.000 kcal/dia de energia.

Com a redução de disponibilidade de madeira e aglomeração em sociedade o carvão já conhecido desde o século IX ganha força em seu consumo na segunda metade do século XVIII, impulsionado com a revolução industrial e a máquina a vapor.

O crescimento das cidades e comércio só potencializa a necessidade e o apetite por mais energia, sendo seu consumo médio *per capita*, ao final do século XVIII, de 80.000 kcal/dia.

A demanda por mais energia é saciada na metade do século XIX pelo desenvolvimento da exploração do petróleo. Sendo seu aperfeiçoamento tecnológico e de refinamento marcado com o desenvolvimento da indústria automobilística. De onde outros energéticos, como o querosene e gás natural, também foram

desenvolvidos para suprir a crescente demanda dos grandes centros urbanos, com crescente demanda por conforto.

Paralelamente a todo este desenvolvimento termo-químico-mecânico, a eletricidade vinha ganhando espaço, desde a invenção da lâmpada e posteriormente força motriz. Inventos que rapidamente desenvolveram novos aparelhos, máquinas, necessidades de conforto humano e desenvolvimento econômico, mudando para sempre o meio e o modo como nos relacionamos.

Exponencialmente a necessidade por energia elétrica se distribui pelo mundo através da distribuição nos centros urbanos e posteriormente em transmissão entre grandes unidades geradoras e centros consumidores.

A crescente demanda deu origem a energia nuclear em concomitância a interesses políticos e bélicos na II Guerra Mundial.

Atualmente sucedendo-se a todos os avanços, de alguma forma, todas as fontes de energia, citadas até o momento, tem sua parcela de consumo no mundo moderno. (REIS, 2012)

O homem moderno chega assim ao século XXI com uma necessidade energética de aproximadamente 230.000 kcal/dia, ilustrado pelo Gráfico 1, sendo supridos pelas fontes citadas, para as suas necessidades de alimentação, moradia e comercio, indústria e agricultura e transporte, respectivamente na proporção de 12%, 22%, 33% e 33%. (MATAI, 2015)

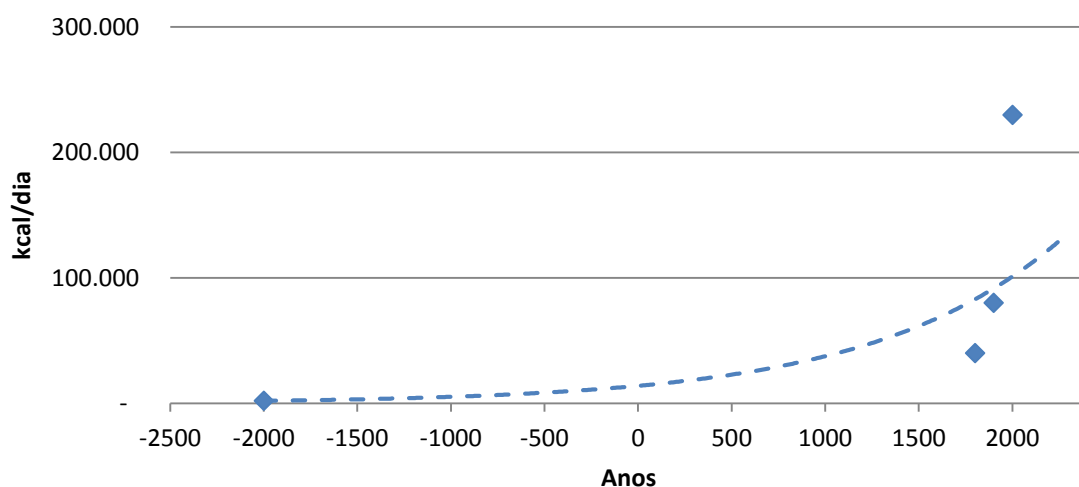


Gráfico 1: Evolução do consumo energético do homem

1.2 Energia Solar

Na atualidade as fontes renováveis fornecem aproximadamente 19% da energia mundial. Em muitos lugares do mundo esse percentual de participação aumenta de maneira significativa. Por exemplo, a eólica, é o recurso com a maior taxa de incremento no mundo, com expressivos 55% ao ano na Europa e 37% ao ano dos Estados Unidos. Em segundo lugar, e em destaque neste trabalho, a energia solar fotovoltaica cresceu 35% ao ano no mesmo período. (HINRICHS, 2014).

A energia solar radiante é utilizada para aquecimento de edificações, de água para consumo residencial e para a produção de eletricidade por meio de células solares e geradores a vapor. (HINRICHS, 2014).

O desenvolvimento se dará de forma clara e objetiva para explicar a origem, a energia solar radiante, e na sequência o fenômeno fotoelétrico das células solares para a geração de eletricidade.

Ainda conforme Hinrichs, 2014, a energia solar, atinge o planeta em uma média anual de 6.800 a 23.000 kJ/m²/dia, sendo das regiões temperadas e equatoriais respectivamente estes valores. Esta radiação solar incidente é conhecida e chamada de insolação. Toda esta energia que chega até o planeta tem origem no sol, mais especificamente de uma reação nuclear, da fusão dos núcleos de Hidrogênio em núcleos de Hélio. Assim nestas reações gigantescas quantidades de energia são liberadas. Sendo que parte desta energia gerada no sol chega a Terra através da radiação eletromagnética.

Ao chegar a Terra, aproxima-se que metade chega à superfície do planeta, sendo 21% de radiação direta e 29% após dispersão através das nuvens. Assim a quantidade de insolação que atinge o topo da atmosfera é de aproximadamente 1.360 W/m², assim denominado constante solar, pois varia minimamente durante o ano. Já a quantidade de insolação na superfície da Terra pode variar de 0 a 1.050 W/m², pois depende da latitude, da estação do ano, do horário e das condições meteorológicas.

Os dois primeiros fatores são dependentes da geométrica da órbita da terra ao redor do sol e de sua inclinação em seu próprio eixo, assim determinando as estações do ano. (HINRICHS, 2014).

A Figura 1 demonstra a rotação ao redor do sol e seu eixo de inclinação de $23,5^\circ$. Sendo que neste exemplo, destaca as estações do ano para o hemisfério norte, sendo para o hemisfério sul as estações opostas.

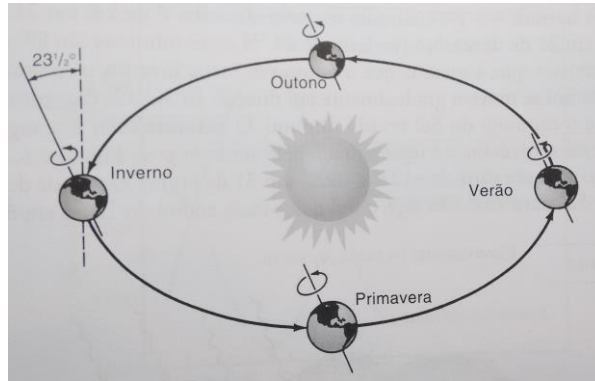


Figura 1: Variação de ângulo da Terra ao longo do ano (HINRICHS, 2014)

Essa rotação influencia no grau de exposição ao sol, sendo no verão a máxima exposição e no inverno a mínima. Essa exposição ao sol também é influenciada por sua localização ou latitude no planeta, sendo que quanto maior a latitude (maior o deslocamento em direção aos polos) menor é a exposição solar, enquanto que menor a latitude (mais próximo da linha do equador) mais alta a insolação, exemplificado pela Figura 2, de uma residência no hemisfério norte, ilustrando o ângulo acima do horizonte do sol nas quatro datas de mudança de estação.

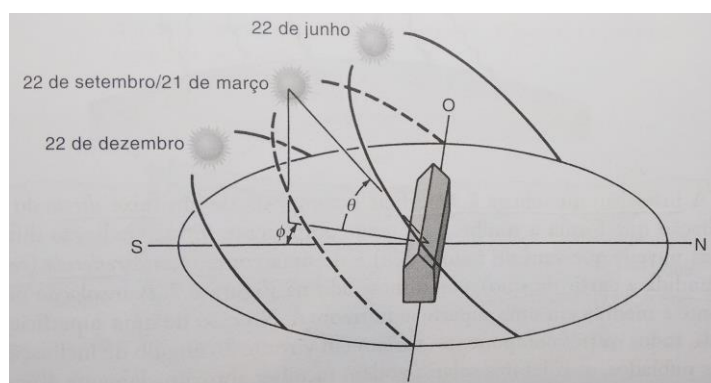


Figura 2: Variação de ângulo do Sol em relação a observador na Terra (HINRICHS, 2014)

Os dados de radiação solar estão disponíveis de diversas formas, seja de forma direta através de medições de equipamentos ou valores integrados e manipulados através do acumulo ao longo do tempo. A maioria destes equipamentos disponibiliza os dados em função do tempo, exemplo é ilustrado na Figura 3 que ilustra a radiação solar total (direta e difusa) em W/m^2 em uma superfície horizontal ao longo de um dia de céu limpo, em um local com latitude de 43° em um dia do ano próximo ao equinócio. (DUFFIE, 2006)

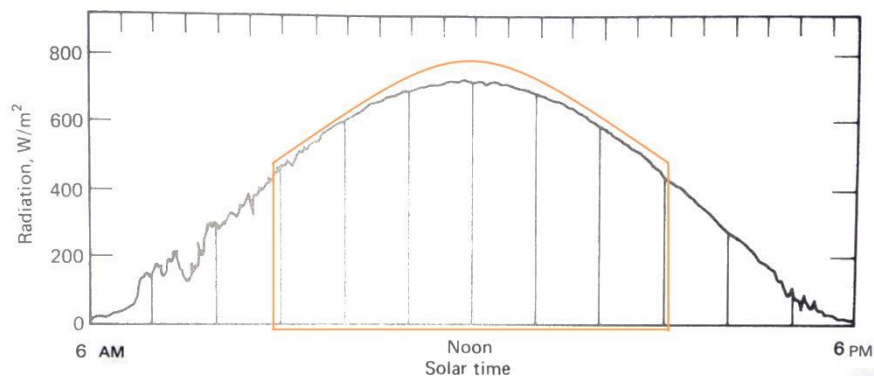


Figura 3: Curva de insolação diária (DUFFIE, 2006)

1.2.1 Conversão, Tecnologia e Aplicação.

A geração fotovoltaica (a partir deste momento citada apenas como FV), sendo o fenômeno de conversão da luz solar diretamente em eletricidade é um fenômeno fascinante. Seu histórico data de 1887 e seu grande impulsionador da década de 1950 com o programa espacial norte americano.

O princípio datado de 1887 por Heinrich Hertz e explicado em 1905 por Albert Einstein, determina o efeito fotoelétrico aonde elétrons são emitidos quando a luz atinge determinados metais. Assim elétrons são emitidos com uma quantidade de energia cinética inversamente proporcional ao comprimento de onda de luz incidente, quando esta luz incide em uma placa negativa. Fenômeno este, que inicialmente se observa para determinados comprimentos de onda enquanto para outros não.

Foi então que Albert Einstein pressupôs o comportamento da luz como o de uma partícula do que uma onda. Sendo a energia da partícula da luz, chamada de fóton, dependendo apenas de sua frequência, determinando assim, a energia do fóton igual a $h \times f$, onde h é a constante de Planck e f a frequência da luz.

Desta maneira, em uma placa de metal, o átomo é capaz de capturar um fóton e obter energia necessária para escapar, se a energia do fóton exceder a energia de adesão do elétron do metal. Isto vai ocorrer somente se a frequência da luz (f) for grande o bastante ou o comprimento de onda (λ) pequeno o bastante, uma vez que estas duas variáveis são inversamente proporcionais, lembrando que a velocidade da luz (c) é constante e igual a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ e dada por $\lambda \times f = c$.

Definido o fenômeno de conversão aborda-se a tecnologia para a obtenção desta energia.

Em essência as células solares FV são feitas do empilhamento de camadas de modo a potencializar o efeito descrito acima, e através de condutores para capturar e criar um fluxo de elétrons, obtendo corrente e tensão.

O empilhamento de camadas, em sua grande maioria é de materiais semicondutores. Um material isolante (silício cristalino) por processo de dopagem é contaminado com outro material, alterando suas características e propriedades. Desta forma se adicionado fosforo na estrutura cristalina, passam a existir elétrons extras produzindo um semicondutor do tipo n (negativo) no qual a carga da corrente de elétrons é negativa. Caso contrário, se for adicionado boro ao silício, existiram menos elétrons, e na estrutura cristalina existiram lacunas, espaços vazios, os quais deveriam ser preenchidos por elétrons, criando assim um semicondutor tipo p (positivo). (HINRICHS, 2014).

A célula solar FV consiste no arranjo destes dois materiais, pois quando colocados juntos formam uma junção “p-n”, adicionando de um circuito para capturar o fluxo de elétrons conforme Figura 4.

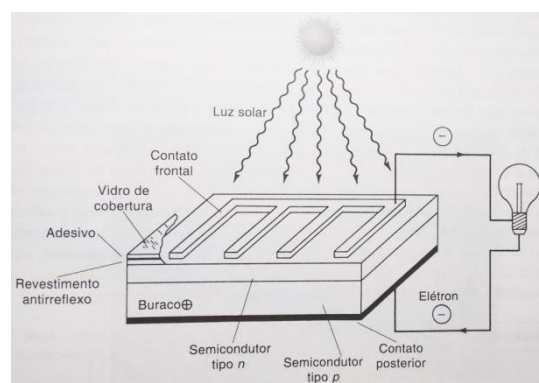


Figura 4: Junção “p-n” de semicondutores de célula fotovoltaica (HINRICHS, 2014)

Para ter uma ordem de grandeza do processo e fenômenos até o momento descrito, a célula solar ilustrada é formada por uma camada superficial de semicondutor de silício tipo n de 1 μm de espessura para ser transparente a luz, anexada a uma grade metálica condutora para captura dos elétrons e arranjada também para evitar que a luz seja bloqueada da camada inferior de semicondutor tipo p, com aproximadamente 400 μm de espessura, sendo todo este bloco encapsulado para resistir às intempéries do meio.

Para, ainda, ter ordem de grandeza do processo elétrico, a junção p-n dos materiais produzem uma tensão de aproximadamente 0,5 V sob uma incidência de insolação solar de 1.000 W/m^2 , gerando uma corrente contínua de 100 mA/cm^2 . Assim uma célula de 5 cm de diâmetro produzirá 0,25 W, enquanto uma de 10cm de diâmetro produzirá 1 W. Valores muito pequenos, mas que ilustram e nos dão ordem de grandeza do processo e dinâmica da energia solar e sua aplicação e desafio tecnológico.

Muito embora o foco do trabalho seja a aplicação e não se aprofundar nos processos de manufatura das células FV, um breve resumo será apresentado a seguir, pois a partir disto se podem evidenciar os custos associados ao painel solar FV.

As células FV em sua maioria são feitas atualmente com base na sílica (SiO_2). A célula feita de silício monocristalina passa por um processo de refino, purificação, derretimento e solidificação em um monocristal de silício puro, lentamente extraído em lingote cilíndrico (processo Czochralski) que é em seguida fatiado em finas fatias de 0,5mm que serão então dopadas com fosforo ou boro para formação dos semicondutores do tipo n e tipo p respectivamente.

A pureza das matérias primas, altas temperaturas e fineza dos acabamentos encarecem o processo e determinam seu preço no mercado.

Dois outros tipos de células FV também são manufaturas, as células policristalinas feitas de cristais de silício embalados aleatoriamente, podem ser produzidas de forma mais simplificada e barata que as monocristalina. E ainda as de silício amorfo que apresentam estrutura atômica desordenada, sendo produzida pela fina deposição de material em base metálica ou de vidro, demanda menor custo, em compensação tem menor eficiência e menor durabilidade. (HINRICHS, 2014).

Outros materiais além do silício vêm sendo utilizados e desenvolvidos, a Tabela 1 mostra alguns deles e sua eficiência. O grande desafio da indústria é

encontrar o equilíbrio entre a eficiência de conversão e o custo competitivo de manufatura e venda ao consumidor, com aceitação da tecnologia para permitir a larga escala na indústria produtiva e menores custos de produção.

Tabela 1: Eficiência conforme o material de fabricação (ALDABO, 2002)

Material	Laboratório	Comercial
Silício monocristalino	24%	15%
Silício policristalino	18%	14%
Arsenieto de Gálio	28%	
Silício Amorfo	10%	7%
Telureto de cadmio	16%	7%
Diseleneto de cobre e índio	18%	11%

Nos últimos anos, grande avanço tem sido atingido, por isso é tão promissor o momento que vivemos. A Figura 5 mostra a evolução dos custos das células solares FV, segundo a Bloomberg New Energy Finance, também publicado por Forbes.

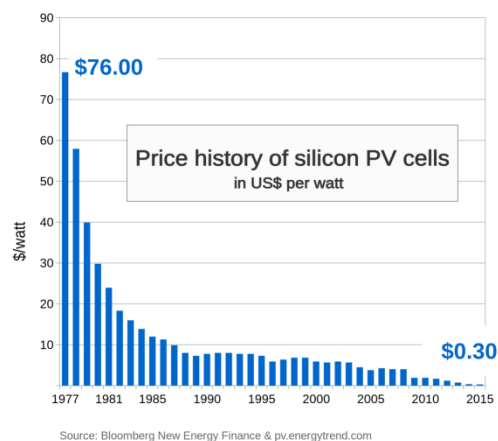


Figura 5: Evolução do custo unitário em dólar americano por Watt de células fotovoltaicas (BLOOMBERG, 2016)

1.2.2 Metodologia de Dimensionamento

Para título e guia de metodologia a ser seguida será usado o exemplos de sistemas fotovoltaicos (FV) instalados e descritos por Labouret e Viloz, 2010, sendo

eles, um sistema residencial de 3 kW, um sistema rural de 110 kW e um galpão de 167 kW.

No estudo da casa na Suíça, uma nova construção alinhada a conceitos de eficiência energética, cuja demanda térmica era provida por coletores solares e aquecimento central. Para o sistema solar FV, primeiramente foi delimitado a área disponível para o equipamento solar, com a escolha de vinte e quatro painéis de 130 W, fixados ao telhado com suporte de excelente acabamento e sistema de substituição de telhas, sendo que o telhado já possuía angulação de 25° e alinhamento de 10° com o leste. A casa possui integração com a rede da distribuidora local e recebeu aprovação para operação, estimada em 25 anos. Também foram feitos estudos de sombreamento, que apontaram montanhas a sudoeste e do lado leste o horizonte não é totalmente limpo em função de a casa estar em um lado mais baixo do vale do rio, resultando em um sombreamento de 5,2% nas simulações de computador.

No estudo da fazenda, também na Suíça, se inicia pela completa cobertura do telhado da face sul (lembrar que no hemisfério norte a face sul é que aponta e recebe maior insolação). Nele foram instalados 918 painéis FV de 120 W montados em suportes em angulação de 20° alinhados 24° a leste. Neste caso a junção dos painéis FV já funciona como telha, sendo a estrutura de madeira e película impermeabilizante de forro. A conexão elétrica com a rede distribuidora também foi feita e aprovada com o uso de inversores, e neste caso o excedente de energia foi negociado para ser injetado na rede da distribuidora, sendo o proprietário da fazenda remunerado por este volume de energia.

No estudo do galpão, situado ao sul da França, o telhado metálico corrugado foi totalmente substituído por painéis solares FV. A área escolhida foi de aproximadamente 1.250 m², com fixação desenvolvida especificamente para este fim, sendo utilizadas as vigas metálicas do galpão como apoio para os suportes de alumínio dos painéis FV. No total 182 painéis de 230,4 W foram utilizados com inclinação de 17° e alinhamento ao sul. O sistema foi conectado à rede através de quatro inversores, e simulação de sombreamento foi desnecessária pelo perfeito alinhamento ao sul e a planície em que se encontra o galpão não apresentar interferências. (LABOURET, 2015).

Nestes três exemplos fica clara a determinação do local, a identificação da área que irá receber os painéis solares FV, a escolha da fixação por suportes ou

apoio no telhado existente e estudo de simulação de sombreamento e interferências. Uma vez evoluída para a próxima etapa e escolhida o painel e a quantidade, se define a interface de conexão elétrica através de inversores. Simulações de energia gerada mês-a-mês em função da insolação também serão importantes para determinação da viabilidade.

1.2.3 Energia e Meio Ambiente

Citando Hinrichs, 2014: “A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna”. No dia-a-dia da sociedade rural ou urbana, do alto ao baixo padrão de vida há uma componente intrínseca para a necessidade de energia, seja diretamente elétrica, fóssil para deslocamento, aquecimento, climatização de conforto ou embutida na forma de bens de consumo ou serviço.

Citados eventos políticos como embargo do petróleo em 1973, Revolução Iraniana em 1979, Guerra do Golfo Persico em 1991, Iraque em 2003, só evidenciam a necessidade ilustrada acima por energia. Tanto que, inclusive eventos como o 11 de setembro de 2001 trazem a tona componente de dependência energética.

Hoje em dia, energia é sinônimo de riqueza, prosperidade e desenvolvimento humano e econômico. (HINRICHS, 2014)

Fato também suportado pela Organização das Nações Unidas em seus relatórios de 2007/2008 e também pelo recente Relatório de Desenvolvimento Humano de 2015 aonde, em ambos, evidencia a direta relação entre o consumo de energia per capita, que é maior nos países mais desenvolvidos (CASTRO, 2014), e também como consequências o acesso a serviços, melhora da saúde, redução da pobreza e melhora das condições de moradia estão diretamente ligadas ao consumo de energia. (ONU, 2015)

Esta relação direta entre desenvolvimento da sociedade e consumo de energia elétrica é claramente divulgado em relatórios internacionais. A Figura 6 é exemplos destes relatórios. Nela identificam-se os países de primeiro mundo no canto superior direito, evidenciando o alto consumo de energia per capita e o elevado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), nos extremo inferior esquerdo os países subdesenvolvidos com baixo IDH e consumo de energia, ainda no lado esquerdo

destaca-se o Brasil, ainda com baixo consumo de energia per capita, mas com o IDH mediano.

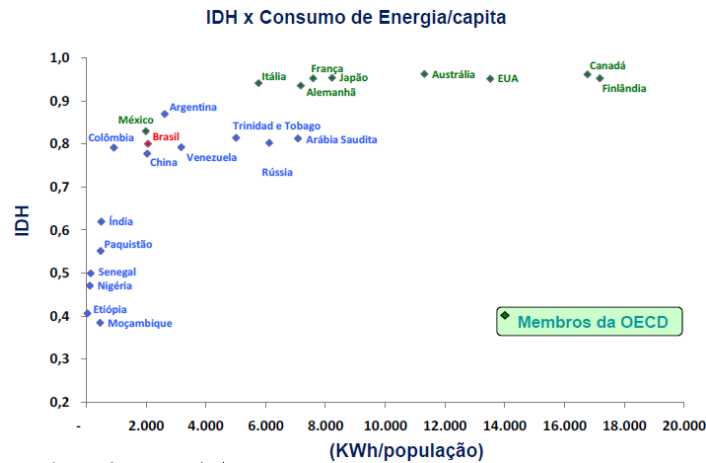


Figura 6: Relação entre IDH e Consumo de Energia per capita

O fornecimento de energia é fator limitante e hoje traz crescente preocupação com o meio ambiente. Em torno de 80% da energia global vem do petróleo (Figura 7), e o conforto/benefício originado deste uso pode gerar a seus usuários um mal crônico (em longo prazo no meio ambiente) tanto quanto um mal agudo (em curto prazo) em função da sua ausência. (REN21, 2015)

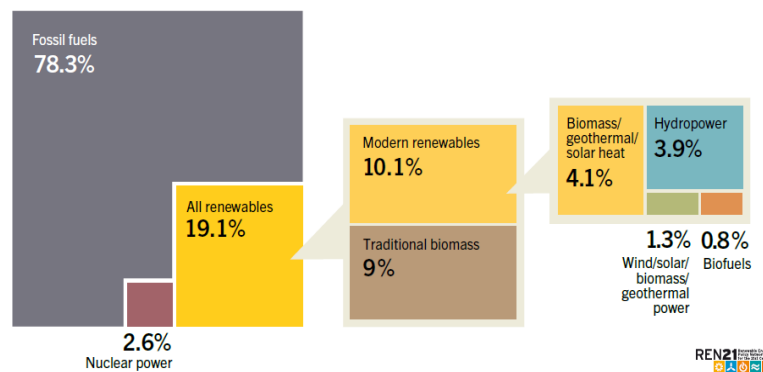


Figura 7: Estimativa de Participação de Energia Renovável no consumo Global de 2013 (REN21, 2015)

Evidencias desse uso desenfreado de energia fóssil com impacto no meio ambiente pode ser observado na Figura 8 e Figura 9 que mostra o contínuo crescimento da temperatura coincidentemente ao aumento da concentração de CO₂ no século XXI. (HINRICHS, 2014)

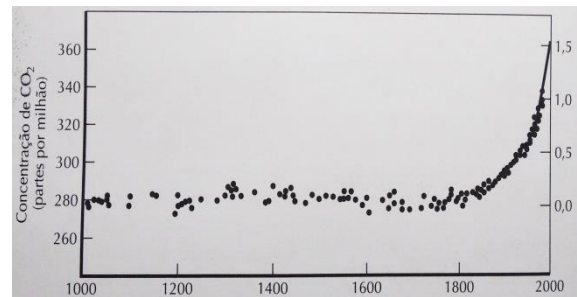
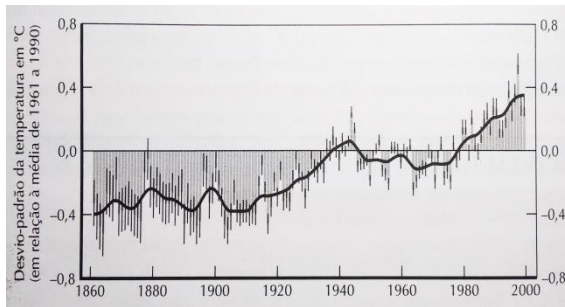


Figura 8: Histórico do desvio padrão de temperatura em °C (HINRICHS, 2014) **Figura 9: Histórico da concentração de CO2 em ppm na atmosfera (HINRICHS, 2014)**

1.3 Meio Ambiente

Sobre o Meio Ambiente, o mesmo, será contextualizado de forma abrangente, como ele o é. Na sequência são abordadas a questão elétrica sobre a ótica da matriz elétrica brasileira e como a energia solar está inserida. A poluição será vista a partir do carbono equivalente, e na sequência a abordagem da cidade, introduzindo a questão de mobilidade que abrirá frente para a questão dos transportes na sequência.

1.3.1 O que é Meio Ambiente

De acordo com a resolução CONAMA 306:2002:

“Meio Ambiente é o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”

Ainda em consulta a prestigiada organização, encontra-se na ISO 14001:2004 a seguinte definição sobre meio ambiente:

“Circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo-se ar, água, solo, recursos naturais, flora fauna, seres humanos e suas inter-relações.”

Em tempo, de forma ampla, também não se pode deixar de registrar no Art. 225 da Constituição Federal há a seguinte citação:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida impondo-se ao Poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

1.3.2 Carbono Equivalente

Uma economia de baixo carbono é uma tendência quando se fala de política energética. E tem como objetivo o equilíbrio de uma balança com dois dogmas:

- Abastecimento energético com máxima eficiência econômica; e
- Mínimo impacto ambiental em emissões de gases de efeito estufa.

No primeiro, foco a tecnologias e insumo de baixo investimento e baixo custo operacional, sendo já tradicionais de mercado e que historicamente são poluidoras, já no segundo o foco ambiental, que nos remete a tecnologias de última geração com grande investimento em desenvolvimento, instalação ou operação e manutenção. Caracterizando assim o duelo, ou os dois pratos desta balança.

Os eventos climáticos entraram na pauta de governos, organizações internacionais, empresas privadas e recentemente tomara dimensão planetária em termos de opinião pública.

A ligação direta das emissões de gases de efeito estufa gerada pelo homem e o aumento da temperatura média da atmosfera que estamos registrando na última década e vivendo nos últimos anos vem mobilizando as políticas energéticas e ambientais em um grande número de países. (CASTRO, 2015). Figura 8 e Figura 9 já apresentadas.

Recentemente no palco das discussões a política de diminuição da intensidade carbônica leva países mais desenvolvidos a invocar a perda de competitividade e redução do ritmo de crescimento, enquanto que em países menos desenvolvidos a limitação da emissão de carbono (associado a tecnologias também menos desenvolvidas) soa, quase, como um sinal de total estagnação, pois não há possibilidade de investimento em novas tecnologias menos poluentes, ou ainda não há população com acesso a esses recursos. (CASTRO, 2015).

Segundo o World Resources Institute (WRI, 2016) cerca de 70% das emissões de gases de efeito estufa se devem ao setor de energia, Gráfico 2. Isto é uma constante desde 2002, bem como o constante crescimento das emissões, detalhado no Gráfico 3, com um total de 48.679 MtCO₂e, um crescimento de 25% em relação a 2002.

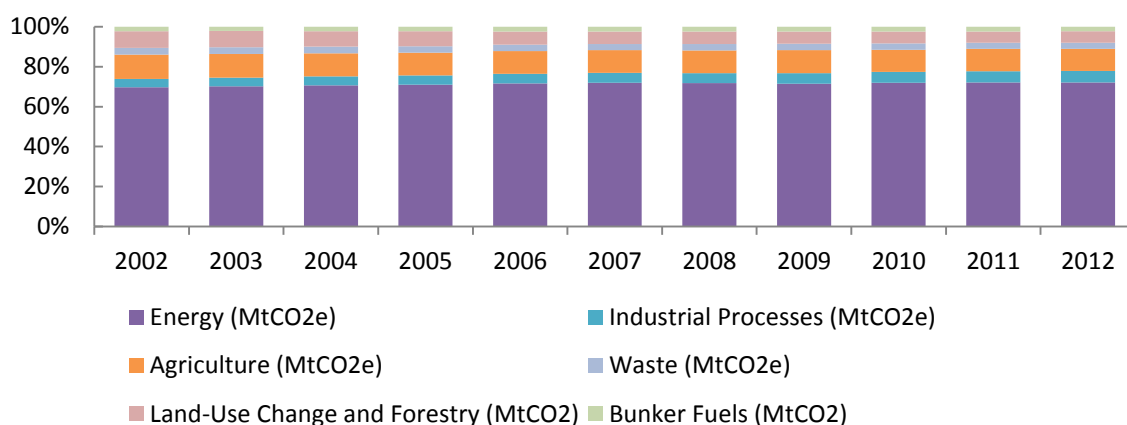


Gráfico 2: Evolução da participação por fonte geradora de CO₂ no Mundo

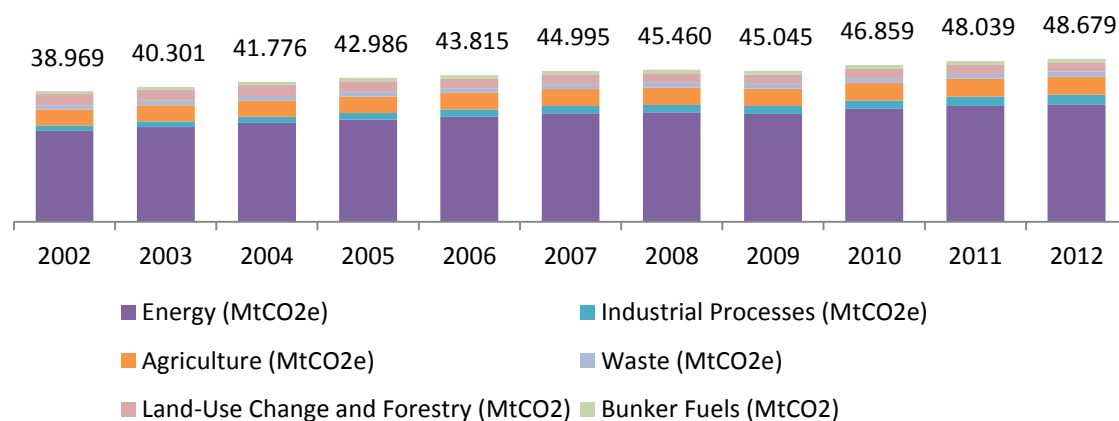


Gráfico 3: Evolução da quantidade de CO₂ por fonte geradora no Mundo

Usando a mesma base do World Resources Institute (WRI, 2016) com foco exclusivo nos dados do Brasil, constatamos que conforme visto seção da Matriz Elétrica Brasileira, não é o setor energético o campeão de emissões, sendo que este representa apenas, aproximadamente, 20%, Gráfico 4. E na evolução dos últimos 10 anos registra-se uma redução de 7%, baseado principalmente pela redução do

desmatamento, muito embora, a energia tenha registrado aumento de 42%, Gráfico 5.

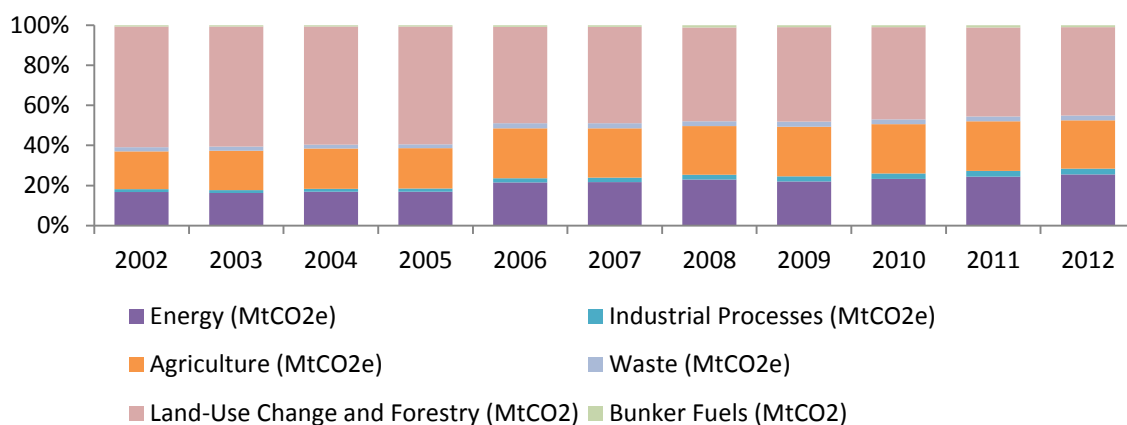


Gráfico 4: Evolução da participação por fonte geradora de CO2 no Brasil

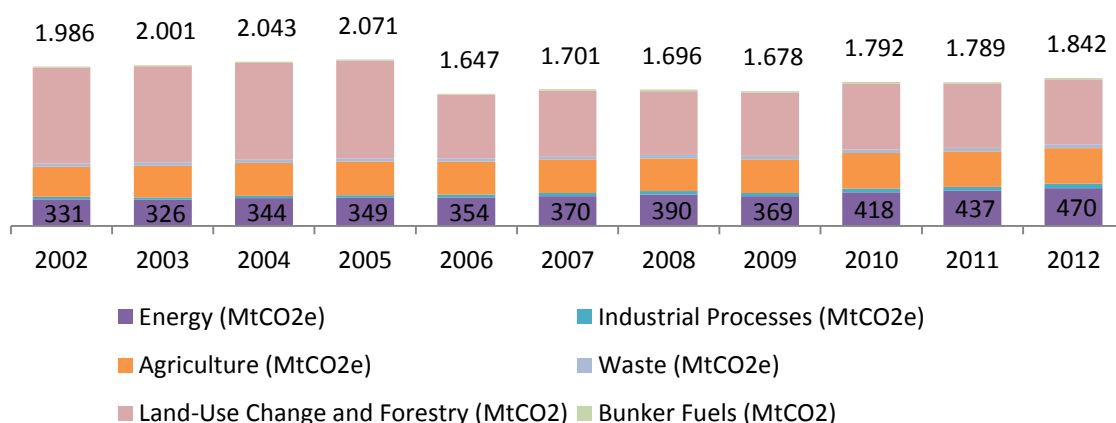


Gráfico 5: Evolução da quantidade de CO2 por fonte geradora no Brasil

Desta forma fica evidenciado pelos gráficos e valores destacados que globalmente o setor de energia é o maior gerador de carbono, já no Brasil isto não ocorre, como também é evidenciado pelos gráficos e valores em destaque.

1.4 Matriz Elétrica Brasileira

O Brasil já possui uma matriz elétrica predominantemente renovável em função da grande capacidade hidroelétrica instalada, Figura 10, que mostra a Capacidade instalada em Dez/2014 no Sistema Interligado Nacional. Neste gráfico é

claro o total renovável de 83%, obtido através da soma dos 62% Hidráulico nacional, 5% Hidráulico importado e 16% de Biomassa, Pequenas Centrais Hidroelétricas, Eólica e Solar. (PDE, 2015)

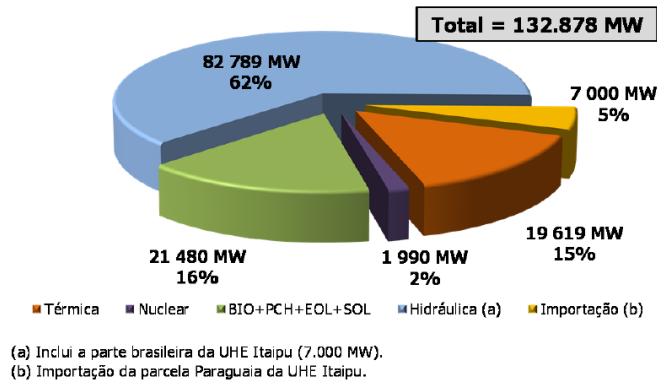


Figura 10: Participação por fonte na Matriz Elétrica Brasileira (PDE, 2015)

Porém nota-se uma redução na capacidade de reservação hídrica ao longo dos anos. A Figura 11 mostra gráfico extraído de apresentação do Prof. José Goldemberg, que evidencia a afirmação acima através da comparação do crescimento da potência instalada no período de 2000 a 2014 que foi de 47,2% com o crescimento de volume útil de reservação destinado à geração hídrica que foi de apenas 10,8%, ou seja, aproximadamente 5 vezes menor.

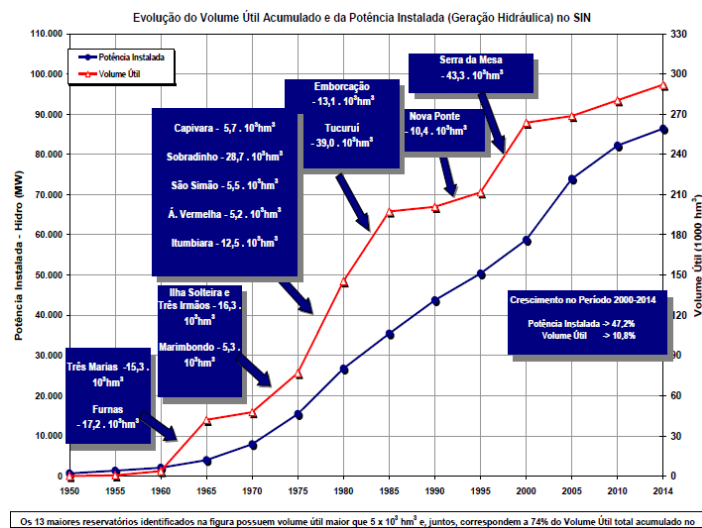


Figura 11: Comparação entre a evolução de potencia elétrica e volume de reservatório (GOLDEMBERG, 2014)

E mais recentemente, nos anos de 2013, 2014 e 2015, a este fato estrutural, se soma a baixa oferta de chuvas, consequência de desarranjos climáticos. Assim expõem a nossa baixa capacidade de regularização em função de baixos níveis de

armazenamento, impondo ao país preços exorbitantes para regular o consumo. Para evidenciar apresentam-se os gráficos de acompanhamento de Energia Natural Afluente (ENA), que são medidos em percentual da Média de Longo Termo (MLT), nomenclatura climática para definição da normal climatológica, ou ainda de maneira mais simples, o que se espera de chuva. E no mesmo gráfico o nível do reservatório. (ONS, 2016) São apresentados quatro gráficos em função da divisão dos subsistemas, Tabela 2.

Tabela 2: Lista dos gráficos de ENA e Capacidade de Reservatório

Subsistema	Gráfico	Comentários
Sudeste	Gráfico 6	Em destaque pelo grande vale em 2014
Sul	Gráfico 7	Em destaque pelas volumétricas chuvas
Nordeste	Gráfico 8	Em destaque pelo contínuo decréscimo desde 2013
Norte	Gráfico 9	Em destaque pela contínua sazonalidade

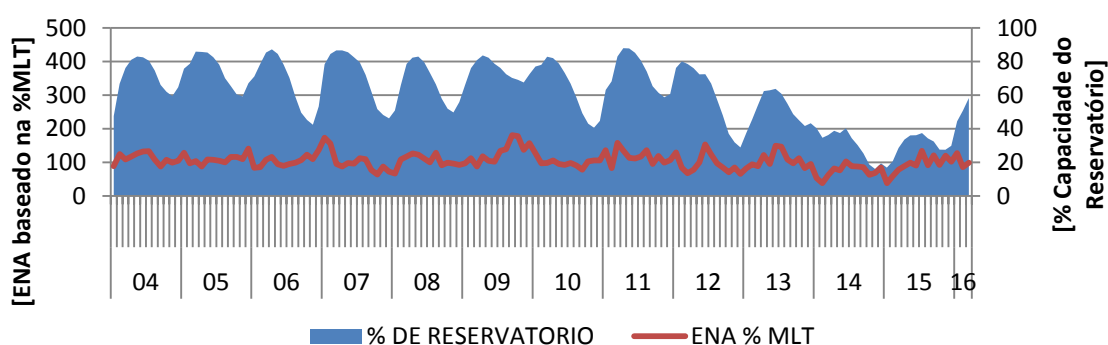


Gráfico 6: ENA e Capacidade de Reservatório – Subsistema Sudeste

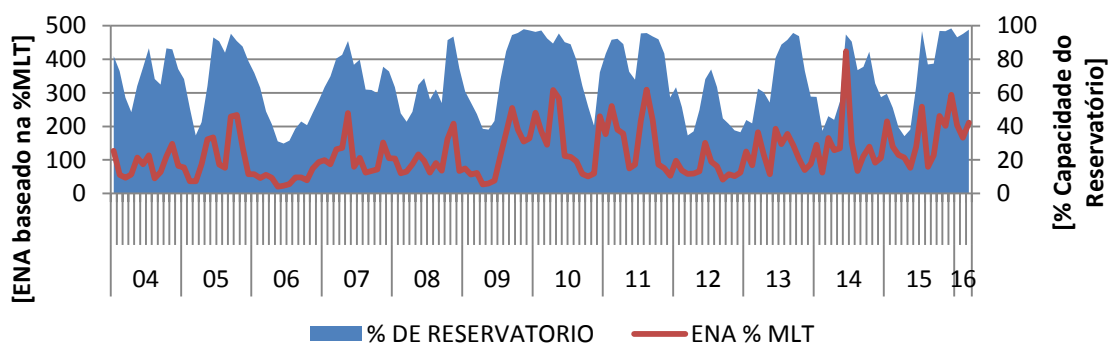


Gráfico 7: ENA e Capacidade de Reservatório – Subsistema Sul

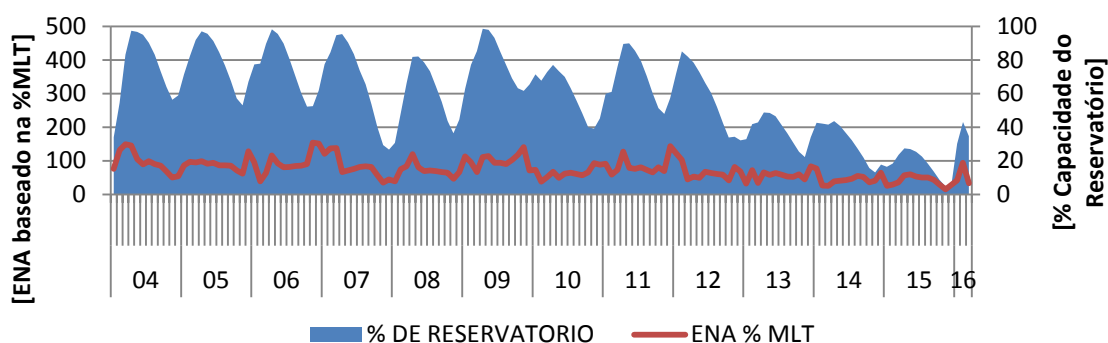


Gráfico 8: ENA e Capacidade de Reservatório – Subsistema Nordeste

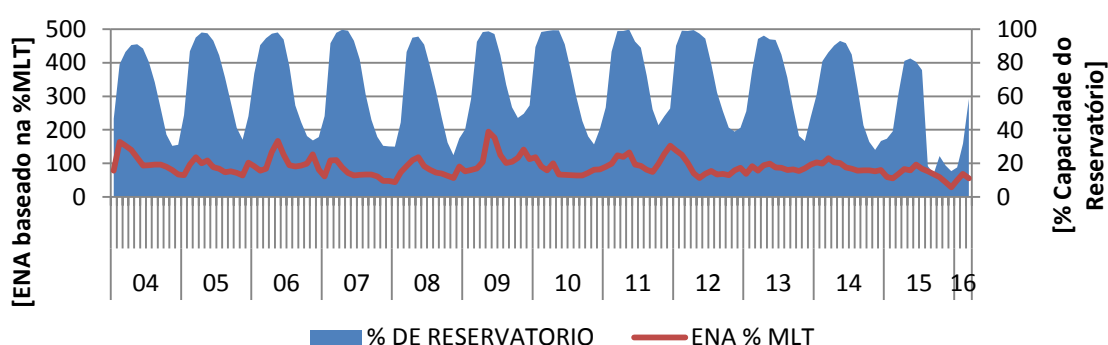


Gráfico 9: ENA e Capacidade de Reservatório – Subsistema Norte

Assim, o desafio para o Brasil, é a diversificação de sua matriz com a inserção de energia eólica, bioeletricidade e da energia solar em escala compatível com seu respectivo potencial. Uma vez que a construção de novos grandes reservatórios de regularização e novas grandes usinas hidroelétricas se tornam incoerentes com a realidade de novas políticas socioambientais e opinião pública. E andando na contramão do mundo ao optar por tecnologias não renováveis, em função dos grandes investimentos em fontes renováveis feitos em diversos outros países para amenizar as emissões de gases de efeito estufa e descontinuidade em muitos outros de tecnologias nucleares em função de associações a riscos.

Certos disto, a inserção das novas tecnologias renováveis na matriz Brasileira ficam restritas as políticas públicas, leilões de energia nova e a quebra de paradigma do modelo operacional, seja para a inserção de fontes intermitentes como a eólica, a ampliação do sistema da transmissão, tanto para a eólica quanto para a bioeletricidade e de nova regulamentação para a geração distribuída para a expansão de energia solar. (CASTRO, 2015).

Conforme Plano Decenal de Energia 2024 está previsto expansão de 73.569 MW, isto representa 55% de expansão da oferta, apresentada na Figura 12. Deste potencial previsto para expansão nos próximos 10 anos, 56%, ou seja, 41.442 MW já foram contratados em Leilões de Energia Nova (LEN), que conforme Lei nº 10.848 de 2004, devem ocorrer com antecedência de 5 ou 3 anos, em aderência ao porte do empreendimento a ser construído. A Figura 13 ilustra este acréscimo de capacidade instalada já contratada e planejada até 2024. Identifica-se ainda o grande potencial renovável do Brasil, quando analisamos que do potencial de 73.569 MW de expansão, 62.445 MW, ou 85% é renovável.

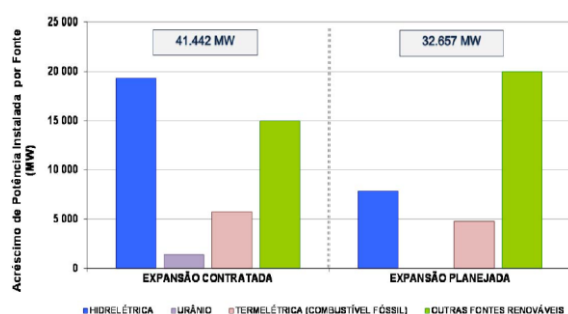


Figura 12: Acréscimo de Potência na Matriz Brasileira (Contratada e Planejada) por fonte (PDE, 2014)

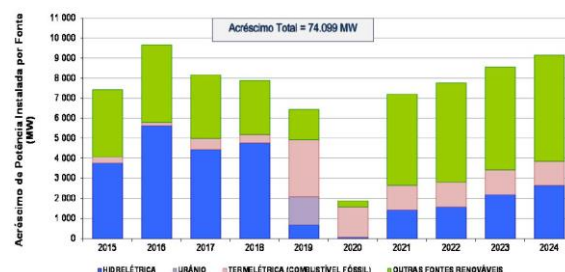


Figura 13: Acréscimo anual de capacidade instalada por fonte (PDE, 2014)

Este planejamento e implantação são constantes, e pode ser evidenciado através do relatório InfoLeilão da Câmara e Comercialização de Energia Elétrica de 29 de abril de 2016. A Figura 14 abaixo mostra que foram concluídos os Leilões de Energia Nova em 2014, 2015 e 2016.

Leilão	Data	Energia contratada (MWh)	Energia contratada (MW médio)	Montante negociado atualizado (R\$ milhões)	Preço médio (R\$/MWh)
Leilão de Energia Nova (LEN)					
19º LEN (A-3)	06/06/2014	80.645.645	395	11.853	146,98
20º LEN (A-5)	28/11/2014	583.850.275	2.743	131.052	224,46
21º LEN (A-5)	30/04/2015	260.111.035	1.147	73.225	281,52
22º LEN (A-3)	21/08/2015	58.004.225	314	11.621	200,35
23º LEN (A-5)	29/04/2016	49.206.048	202	9.772	198,59

Figura 14: Resultados dos últimos 5 Leilões de Energia Nova (CCEE, 2016)

A regulamentação da 482/2012 sofreu grande atualização no ano de 2015, em Audiência Pública realizada na ANEEL no dia 24/11/2015, foi aprovada a

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687 (REN 687/15), que altera a REN 482/12, que havia instituído a Geração Distribuída. Em suma, a ANEEL tornou mais fácil para que as pessoas e empresas possam produzir a sua própria energia a partir de fontes renováveis (solar, eólica, hidráulica e de biomassa). Esta revisão entrou em efeito a partir de março de 2016, e as principais alterações promovidas pela REN 687/15 são:

- Estabelecimento das modalidades de autoconsumo remoto e geração compartilhada;
- Possibilidade de compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais de grupos empresariais;
- Sistemas de geração distribuída condominiais (pessoas físicas e jurídicas);
- Ampliação da potência máxima de 1 MW para 5 MW;
- Ampliação da duração dos créditos de energia elétrica de 36 meses para 60 meses;
- Redução dos prazos de tramitação de pedidos junto às distribuidoras;
- Padronização dos formulários de pedido de acesso para todo o território nacional;
- Submissão e acompanhamento de novos pedidos pela internet a partir de 2017.

Além disso, para a conexão geração distribuída em unidade consumidora existente sem necessidade de aumento da potência disponibilizada, a distribuidora não pode exigir a adequação do padrão de entrada da unidade consumidora em função da substituição do sistema de medição existente, exceto em caso de inviabilidade técnica devidamente comprovada.

1.4.1 Energia Solar no Brasil

Para ilustrar o potencial da energia solar no Brasil e irradiação média anual no Brasil é de 1.500 a 2.400 kWh/m²/ano, enquanto isso na Alemanha é de 900 a 1.250 kWh/m²/ano e na Espanha de 1.200 a 1.850Wh/m²/ano. (FARIAS, 2013).

O Gráfico 10, ilustra estas faixas e comparação entre estes países, e posteriormente a Figura 15, situa o Brasil na faixa Tropical do Planeta, ratificando este potencial de insolação.

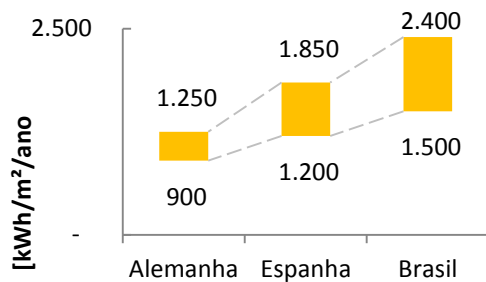


Gráfico 10: Comparação de faixas de insolação solar média

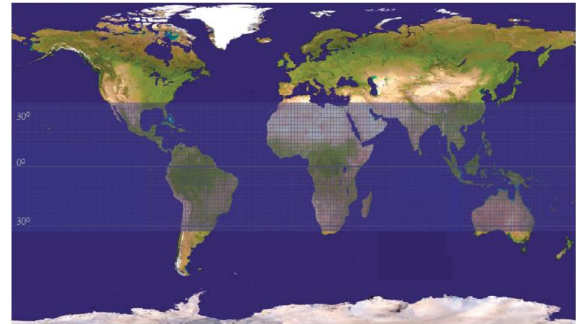


Figura 15: Visão da faixa equatorial da Terra

No Brasil e no mundo a inserção da energia solar está sendo feita preponderantemente como fonte de geração distribuída em unidades de consumo industrial, setor de serviços e ainda unidades residenciais.

Esta inserção está diretamente relacionada à definição de regras claras, disponibilização de linhas de financiamento, e incentivo à formação de uma indústria nacional de equipamentos e profissionais. (CASTRO, 2015).

Tardiamente o Brasil promulga em 2012 a resolução 482 da ANEEL cujo objeto é: “Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências”.

E sofre atualização em Novembro de 2015, para se tornar mais acessível e proporcionar mais benefícios às unidades aderentes, inclusive com parcerias com Conselhos Estaduais da Secretaria da Fazenda para concessão de benefícios fiscais, mas neste momento a situação político-econômica de 2016 passa a influenciar negativamente com atrasos em sua evolução. (ANEEL, 2012)

A complementariedade entre as fontes Hidráulica, Eólica e Solar é comprovada por muitos autores como, por exemplo, FARIAS, 2013 e JONG et al, 2013, mas conforme introduzido é objeto neste ponto ratificar que a energia solar terá seu crescimento de forma distribuída dentro dos centros de consumo.

E para atender à crescente demanda por energia e alinhamento a política ambiental uma fonte limpa como a solar é uma excelente solução, comprovada pelos volumes de investimentos e quantidade de projetos nos últimos anos. (CASTRO, 2015).

Segundo relatório publicado em 2015 pelo REN21, Figura 16, a capacidade de energia solar fotovoltaica instalada no mundo em 2014 era de 177 GW, tendo um aumento de 28% em relação ao ano anterior, 2013. Isto representa 40 GW.

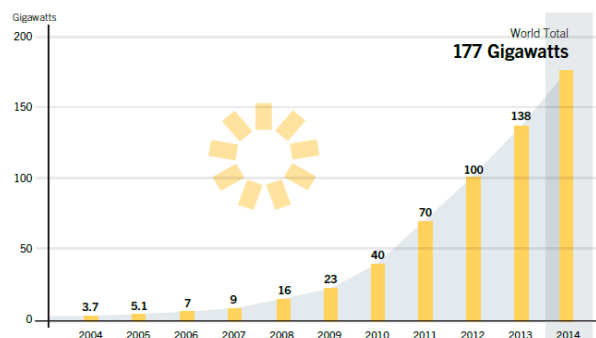


Figura 16: Capacidade Mundial instalada de Energia Solar Fotovoltaica (REN21, 2015)

No Brasil a evolução da energia solar trilha semelhante curva, com crescimento mais acentuado nos últimos anos. Desta forma, os eventos acima descritos propiciaram a expansão da geração distribuída no país, evento noticiado pela própria ANEEL em Março de 2016. Segundo a ANEEL a geração distribuída alcançou resultados significativos, sendo que em outubro de 2015 o Brasil possuía 1.000 adesões de consumidores e, em dois meses, esse número chegou a 1.731 conexões. Este total de instalações representa uma potência instalada de 16,5 MW. Segundo a mesma, a fonte mais utilizada pelos consumidores continua sendo a solar, com 1.675 adesões e 13,3 MW de potência instalada, Gráfico 11. Atualmente, o estado que possui mais micro e minigeradores é Minas Gerais, com 333 conexões, seguem o Rio de Janeiro, com 203, e o Rio Grande do Sul, com 186, conforme Gráfico 12.

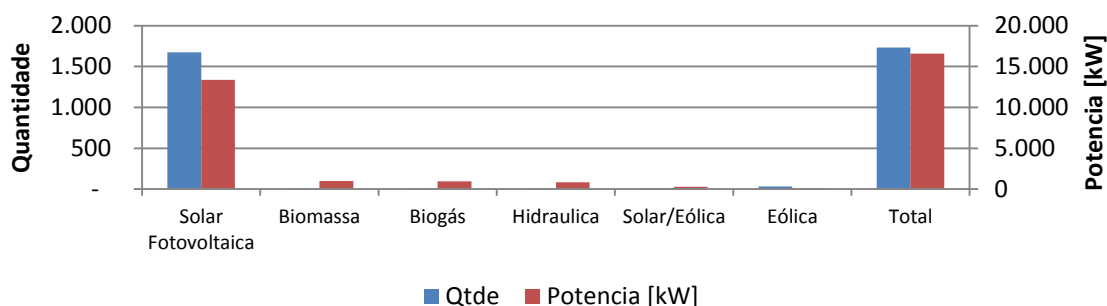


Gráfico 11: Quantidade de conexões por fonte no Brasil ao final de 2015

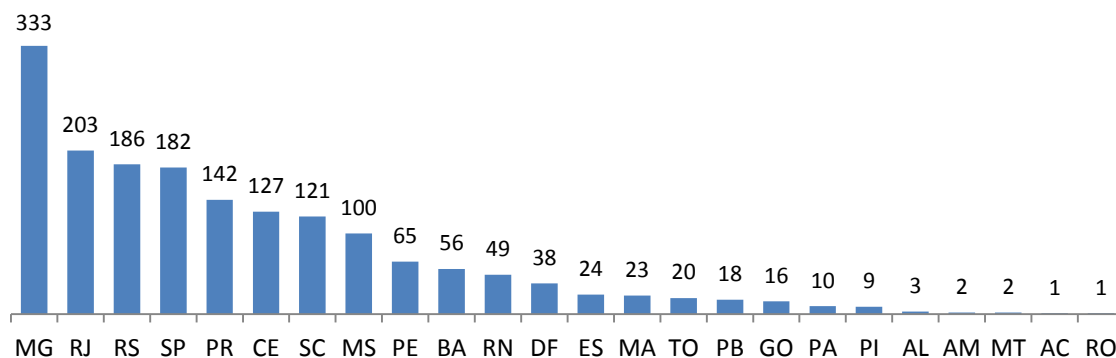


Gráfico 12: Distribuição das conexões no Brasil por UF

O cenário atual apresenta um crescimento significativo da geração distribuída, sendo 308% de incremento somente no ano de 2015 em relação a 2014. Em 2012 eram apenas três conexões no território nacional e, hoje, 1.731 consumidores produzem energia em suas instalações, Gráfico 13.

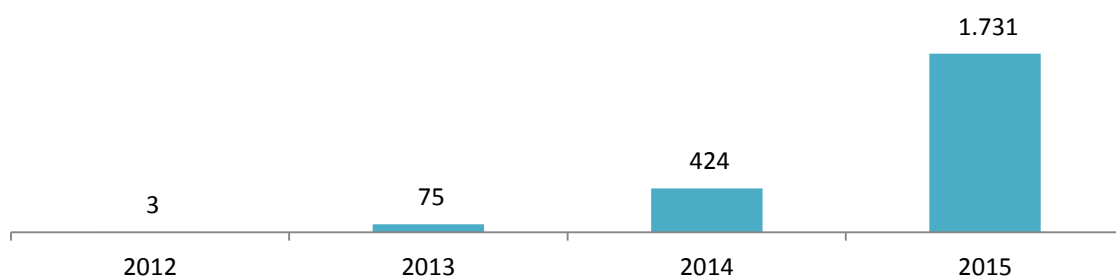


Gráfico 13: Evolução das conexões de energia solar fotovoltaica no Brasil

A geração de energia elétrica perto do local de consumo traz uma série de vantagens sobre a geração centralizada tradicional, tais como economia dos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica. A expansão da geração distribuída beneficia o consumidor-gerador, a economia do país e os demais consumidores, pois esses benefícios se estendem a todo o sistema elétrico. (ANEEL, 2016)

Diante do exposto, e segundo Guilherme de Azevedo Dantas e Rubens Rosental:

“..., a adequada exploração das potencialidades naturais brasileiras não apenas poderá atender a compromissos climáticos que venham assumir, como também consiste em um mecanismo de ganho de competitividade por parte da economia brasileira em um contexto de promoção da economia de baixo carbono.”

1.5 Meio Ambiente e Cidades

Segundo Richard Rogers “As cidades são locais onde as pessoas se encontram para trocar ideias, comprar e vender, ou simplesmente relaxar e se divertir. O domínio público de uma cidade – suas ruas, praças e parques – é o palco e o catalisador dessas atividades”.

1.5.1 Mobilidade Urbana

Segundo Jaime Lerner “A mobilidade é um componente essencial à saúde da cidade. As cidades não podem ser pensadas para os carros”.

Para Jan Gehl, durante décadas a dimensão humana tem sido um tópico do planejamento urbano esquecido e tratado a esmo, enquanto outras questões ganham mais força, como a acomodação do vertiginoso aumento tráfego de automóveis.

Independentemente da localização, economia e grau de desenvolvimento as pessoas e os espaços nas cidades são maltratados. Seja o limitado espaço para ocupação, obstáculos, ruído, poluição, risco de acidentes e condições vergonhosas são comuns e cotidianas para seus moradores.

Na década de 60 a escritora americana Jane Jacobs cita que “..., o florescente tráfego de automóveis estará efetivamente espremendo o restante da vida urbana para fora do espaço urbano”.

Desde então, nestas últimas cinco décadas, muito conhecimento de pesquisadores e teóricos de planejamento urbano se acumulou, tanto que, registrou-se progresso no planejamento urbano prático, principalmente no planejamento do tráfego, aonde em muitas áreas urbanas pelo mundo tiveram que se esforçar para criar melhores condições para a vida urbana, reduzindo a prioridade de tráfego de automóveis.

Um exemplo atual, da situação descrita por Jacobs, é em países emergentes, onde o uso de automóveis cresce vertiginosamente e a competição por espaço se intensifica, tornando as condições para a vida urbana menos digna.

Isto é claro, pois desde a virada do milênio, a maior parte da população global é urbana e não rural. Intensificado pelo fato que as cidades cresceram rapidamente no último século, como continuaram a crescer, de forma acelerada, nos próximos anos.

Deve-se então priorizar como objetivo chave para o futuro um maior foco sobre as necessidades das pessoas que utilizam as cidades. Logo as cidades devem pressionar os urbanistas e os arquitetos a reforçarem as áreas de pedestres como uma política urbana integrada para desenvolver cidades vivas, seguras, sustentáveis e saudáveis.

Para Gehl, destaca-se como uma cidade cheia de vida, onde pessoas sintam-se convidadas a caminhar, pedalar ou permanecer nos espaços públicos, acentuando os benefícios, a economia e meio ambiente, reduzindo o consumo de recursos, limitando as emissões e diminuindo o nível de ruído.

Resumidamente evidenciado na comparação das duas imagens abaixo, a Figura 17, claramente mostra a competição dos automóveis com pedestres no espaço urbano e a evidente melhoria obtida no Plano para Nova York de 2007, com ciclovia e alargamento das calçadas na Broadway, na Figura 18.



Figura 17: Competição de automóveis com pedestres (GEHL, 2015)



Figura 18: Espaço urbano voltado para pedestres (GEHL, 2015)

Afirma-se ainda que comparado a outros investimentos sociais, particularmente os de saúde e de infraestrutura de veículos, o custo de incluir a dimensão humana é tão modesto que os investimentos nessa área serão possíveis

a cidades do mundo todo, independente do grau de desenvolvimento e capacidade financeira.

Fatos mostram que a mudança é possível, seja através de evento natural como o terremoto de São Francisco de 1989 que fechou a Via Embarcadero, obrigando as pessoas a mudarem suas rotinas e rotas, Figura 19, e hoje a Via abriga um Boulevard, Figura 20, ou ainda, a instituição de pedágio em zona central de Londres que significou custos extras aos motoristas, obrigando-os a repensarem seus hábitos, Figura 21. O que resultou uma queda de 41% no uso de carros e elevação de 19% e 48% no uso de ônibus e bicicleta, respectivamente.



Figura 19: Via Embarcadero, São Francisco (antes) (GEHL, 2015)

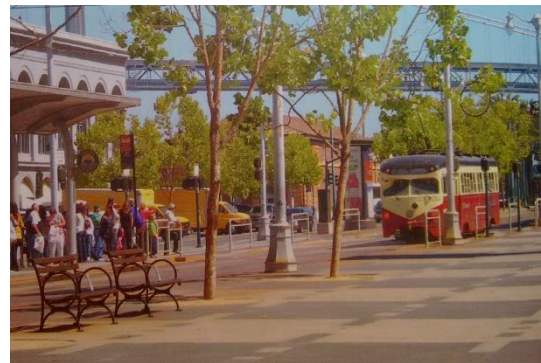


Figura 20: Via Embarcadero, São Francisco (depois) (GEHL, 2015)

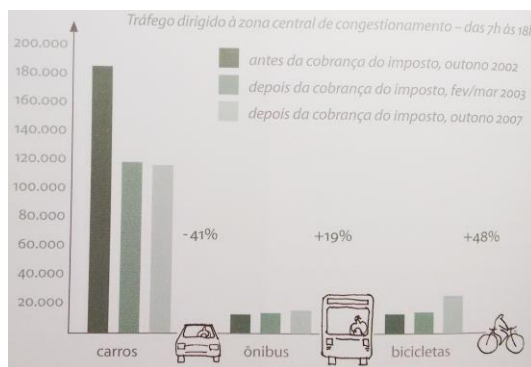


Figura 21: Evolução no tráfego Londrino com a adoção de pedágio (GEHL, 2015)

1.6 Meios de Transporte Elétrico

Desde a evolução do homem primitivo até a atualidade, o consumo de energia *per capita* sofreu grande incremento, conforme já visto. Com a revolução industrial, o setor de transportes passou a ser um grande demandante de energia para atender as nossas necessidade de deslocamento e também a logística de bens nos grandes centros urbanos.

Hoje 90% da demanda de energia do setor de transportes é atendida por recursos fósseis, correspondendo a 25% das emissões de gases de efeito estufa (IEA, 2012a at CASTRO, 2015). Segundo os estudos e levantamentos de Alexandre Lafranque e Guilherme de Azevedo Dantas, publicados em CASTRO, 2015:

“Estimativas indicam que a demanda por transportes crescerá a taxas elevadas nas próximas décadas. Supondo que o atendimento às necessidades energéticas do setor mantenha os mesmos parâmetros atuais, todo o aumento de demanda por petróleo, até 2035, seria oriundo do setor de transportes, o qual passaria a responder por mais de 60% do consumo de petróleo diário de 100 milhões de barris (IEA, 2012b). Como consequência, possivelmente o setor responderia por 80% das emissões de gases de efeito estufa advindas do consumo e do uso de energia, em 2035. Considerando a necessidade da promoção de um sistema energético mais sustentável, são perceptíveis a gravidade desse percurso e o caráter imperativo da adoção de novos padrões. Além da necessidade de mitigar impactos ambientais, a redução do consumo de derivados do petróleo aumentará a segurança energética dos países fortemente dependentes da importação de petróleo, como é o caso da Europa Ocidental.”

Logo a revolução dos meios de transporte elétrico poderá ser a quebra desta nefasta tendência que transformaria negativamente nosso futuro. A Revolução dos meios de transporte elétrico atenderá a previsão de expansão da frota quebrando a dependência por petróleo, tornando o meio ambiente e o sistema energético mais sustentável. (CASTRO, 2015)

Nas publicações de Castro, 2015, também se faz menção as mudanças de comportamento da sociedade e adoção de cidades mais voltadas às pessoas, práticas de *home working*, ciclovias e incentivo a caminhada. Itens percorridos no

estado da arte sobre mobilidade e urbanismo, sendo que o foco neste momento será os meios de transporte elétrico.

1.6.1 O que é Meio de Transporte Elétrico

Novos sistemas de propulsão são necessários. A introdução de veículos híbridos elétricos vem ocorrendo discretamente nos últimos anos e espera-se que a partir de 2020 isto se intensifique. (CASTRO, 2015).

Estas estimativas serão apresentadas no item 1.6.4.

Neste momento a difusão tecnológica de motores (sistemas de propulsão) e baterias (sistemas de armazenamento) tem criado diversos novos tipos de solução, ainda a serem absorvidas pela sociedade e também identificando seus potenciais novos padrões de consumo. A Tabela 3 cita alguns exemplos, já a Tabela 4 faz descrição de suas vantagens e traz alguns dados operativos. Na Figura 22 pode-se observar a tendência e evolução para consolidação de veículos 100% elétricos.

Tabela 3: Siglas de veículos em comercialização

Abreviação	Descrição
HEV	Veículo Híbrido Elétrico
PHEV	Veículo Híbrido Elétrico Plug In
BEV	Veículo Elétrico a Bateria
REEV	Veículo Elétrico de Alcance Estendido

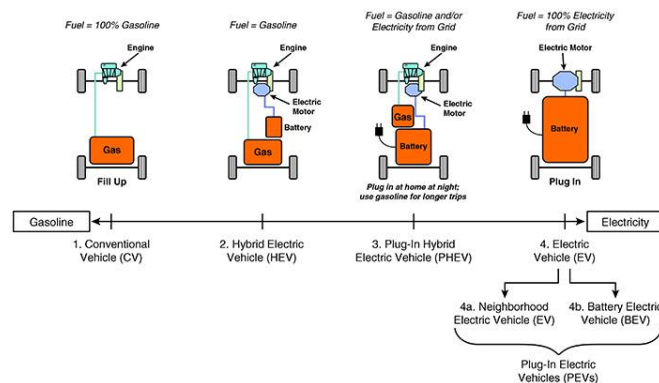


Figura 22: Modelo esquemático de veículos elétricos em comercialização (EPRI, 2016)

Tabela 4: Vantagens e dados operativos de veículos elétricos

	Propulsão	Vantagem	Bateria
HEV	Propulsão realizada pela conjugação de um motor a combustão interna com um motor elétrico (BORBA, 2012).	Sua vantagem é permitir que o motor a combustão trabalhe em sua fração ótima, pois o elétrico opera em baixas rotações.	Bateria de pequena capacidade, que trabalha conjugada com o motor elétrico.
PHEV	É uma derivação do HEV, pois há presença de carregador que permite carregamento da bateria a partir de rede elétrica (BARAN, 2012).	Sua vantagem é permitir ao condutor que se escolha o modo de condução, hora priorizando a parte elétrica seja em carga sustentada ou em carga deplecionada, ou priorizando a parte de combustão interna, sem potência elétrica.	Bateria de maior capacidade de aproximadamente 5 – 10 kWh (IEA, 2011).
BEV	Tem propulsão exclusivamente elétrica, alimentada por bateria no veículo, carregado através da rede elétrica ou de frenagem regenerativa.	Sua vantagem é o incrível nível de eficiência da ordem de 90% e seu sistema de funcionamento menos complexo pela ausência do motor de combustão interna e sistema de transmissão.	Baterias de 30 – 60 kWh, com exceção para veículo da Tesla® com 85 kWh.

1.6.2 Motores Elétricos

Até o momento foi discorrido sobre os meios de transporte elétrico em sua grande maioria, com material acadêmico disponível, sendo os veículos automotivos. Já amplamente difundidos e de uso em massa na sociedade em geral.

Embora qualquer unidade motorizada com um motor elétrico e bateria, possam ser consideradas um meio de transporte elétrico. Desta maneira, além dos veículos já tratados, no capítulo seguinte, bicicletas e unidades individuais de deslocamento também serão apresentadas.

Neste momento será abordado de maneira ampla os tipos de motorização disponível.

Desde a década de 1960 os sistemas de propulsão têm utilizados motores de corrente contínua (CC), sendo que na atualidade os dispositivos eletrônicos de chaveamento de potência para altas correntes tornou possível a conversão direta da corrente contínua armazenada na bateria para a corrente alternada (CA) destes motores de corrente alternada com a possibilidade ainda de variação de frequência e amplitude. Fato e avanços que justificam seu uso como unidades propulsoras de veículos. (LARMINIE, 2003).

Os motores de corrente contínua são aconselhados para operação de veículos de alta velocidade e baixo torque. Controle pode ser obtido através da variação de tensão de alimentação, ou através da variação do fluxo magnético quando bobinas são utilizadas no lugar de imãs permanentes. Três tecnologias de motores elétricos de corrente contínua são citados, sendo eles, os com campo de enrolamento em série, com campo de enrolamento em derivação e com campo independente. A avaliação é que esses tipos de motores têm características favoráveis para a aplicação em veículos elétricos, e que a utilização de componentes eletrônicos de controle contornam suas dificuldades, evidenciando sua simplicidade e baixo custo. (CHAUD, 2013).

Já sobre os motores elétricos de corrente alternada, os mesmos são utilizados há anos em aplicações industriais e de potência em função da rede elétrica ser distribuída em corrente alternada. Seu uso nos veículos só vem sendo possível em função do uso de inversores. Eles podem ser classificados em três grandes grupos: os de indução, síncronos e de relutância variável. Os de indução apresentam menor custo se comparado com motores de corrente contínua de

mesma potencial, em função do seu largo uso, sendo o controle realizado por inversores de frequência. Os motores síncronos oferecem elevada eficiência, pois não é requerida potência durante o funcionamento do motor para indução de corrente no rotor, conferindo grande vantagem no uso em veículos elétricos. Enquanto os motores elétricos de relutância variável, por serem compostos por rotor de ferro magnetizado reduzem seu custo, além da simplicidade que confere menor peso e desta forma melhora na relação de potência por peso. (CHAUD, 2013).

Em linhas gerais as diversas tecnologias de motores são capazes de serem escolhidas para o sistema de propulsão. A escolha final se dará projeto a projeto, em função de características de eficiência, peso, volume, controladores e transmissão. (CHAUD, 2013), reforçados pela Tabela 5, adaptada de CHAU e WANG que ranqueia os motores, mostrando a pluralidade de opções.

Tabela 5: Avaliação qualitativa de tipos de motores elétricos para uso em veículos (CHAUD, 2013)

Elementos de comparação	Motor CC	Motor CA de Indução	Motor CA Síncrono	Motor CA de relutância
Eficiência	2	3	5	3
Controlabilidade	5	3	4	3
Confiabilidade	3	5	4	5
Maturidade	5	5	4	3
Custo	5	5	2	4
Total	20	21	19	18

1.6.3 Armazenamento de Energia

Frequentemente a menor autonomia é apontada por grande parte dos consumidores como desvantagem, mas isto é enfatizado pelo autor como uma questão de percepção e cultura, mais do que efetivamente de tecnologia. (CASTRO, 2015). A Tabela 6 elenca algumas dessas autonomies.

Tabela 6: Autonomia estimada por tipo de veículo elétrico (CASTRO, 2015)

Tipo	Autonomia
HEV	Inferior a 40 km
PHEV	Só elétrico de 56 a 160 km + MCI até 500 km
BEV	125 – 150 km
REEV	Superior a 400 km

Enfim as baterias representam o obstáculo a ser superado no que diz respeito a veículos elétricos, mais na questão custo do que na capacidade de armazenamento. Hoje os custos podem ser estimados conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Custos estimados com bateria para armazenagem de energia elétrica (CASTRO, 2015)

Tipo	Custo Estimado de Bateria
PHEV	US\$ 750/kWh
BEV	US\$ 500/kWh

Analisando o histórico para se prever o futuro, em 2011, os custos com bateria de um BEV eram da ordem de US\$ 750/kWh, hoje estimado em US\$ 500/kWh, com expectativa de custos da ordem de US\$ 325/kWh em 2020 quando atingiram paridade econômica com as tecnologias convencionais de combustão interna. (CASTRO, 2015)

Bem alinhado a estes dados, está o Figura 23, publicado por Sousa, 2015, que evidencia a curva de desenvolvimento e maturidade da tecnologia de armazenamento de energia.

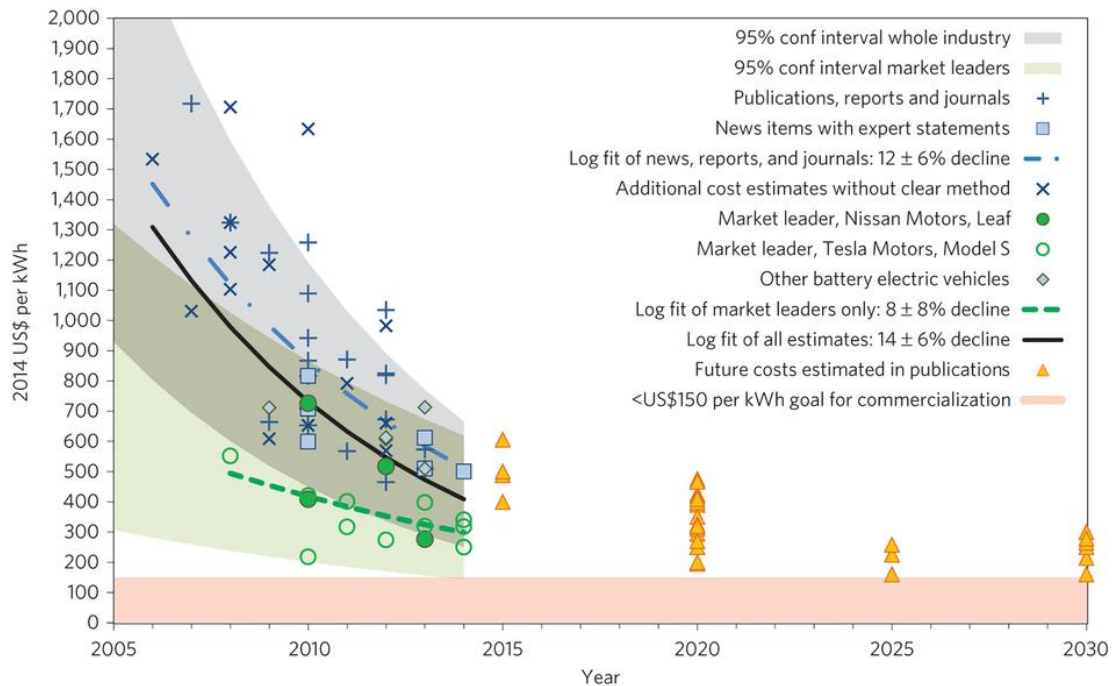


Figura 23: Evolução e expectativas de custos com bateria para armazenagem de energia elétrica (POUPAMELHOR, 2016)

1.6.4 Tecnologia e Evolução

Deste modo, paralelo às pesquisas e desenvolvimento tecnológicos há necessidade da inserção gradativa na frota desta solução para se ganhar a escala industrial desejada. (CASTRO, 2015).

No PDE 2023 e PDE 2024, nas previsões Figura 24 e Figura 25, respectivamente, e analisadas pelo Gráfico 14 o Brasil está inserido e prevê a inserção de frota de veículos elétricos.

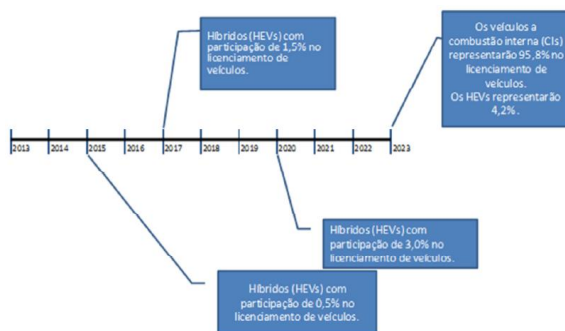


Figura 24: Expectativa de penetração do veículo elétrico PDE 2023

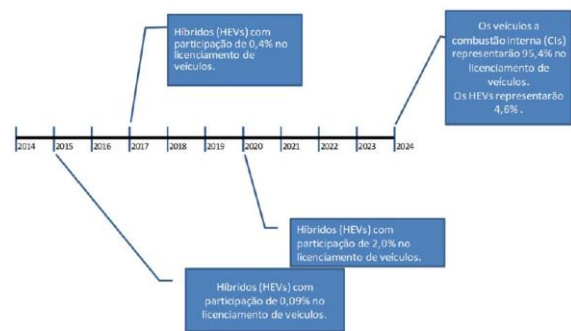


Figura 25: Expectativa de penetração do veículo elétrico PDE 2024

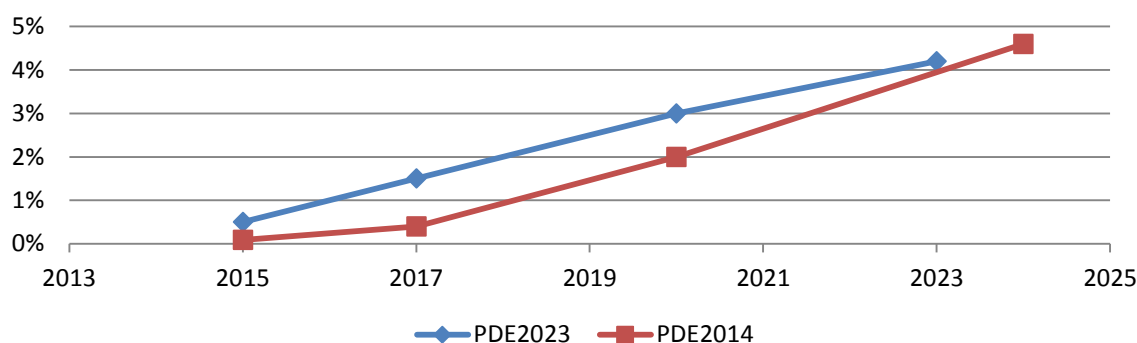


Gráfico 14: Comparação de expectativa de penetração do veículo elétrico

Embora com movimento mais otimista no PDE 2023, publicado no 1º semestre de 2015, que no PDE 2024, há nítida percepção e expectativa de se chegar a 4% da frota em 2025. (EPE, 2015).

Para tanto, adoção de medidas como concessão de subsídios, frotas públicas, isenção de pedágios e outras formas de incentivos são necessárias para fomentar este mercado e alcançar a participação da frota estimada. (CASTRO, 2015).

A participação privada associada à causa ambiental, pela mitigação do CO₂ na atmosfera, com matriz energética sustentável a base de energia solar é o cerne deste trabalho.

Os recursos financeiros, mais abundantes no setor privado, aliados a campanhas de marketing e resultados já comprovados em experiências em países mais desenvolvidos e estudos conforme revisão bibliográfica provam a viabilidade técnica da solução proposta com ganho ambiental e ganho financeiro.

1.7 Soluções em mobilidade urbana com motorização elétrica

Neste momento avalia-se e apresentam-se as soluções de mobilidade urbana com motorização elétrica que são compatíveis com o potencial de mobilidade urbana do empreendimento.

Basicamente serão exploradas soluções em transporte de massa, ou seja, ônibus, que tanto serve para a solução de transporte pública como também para a solução de transporte privado circular entre o empreendimento e a estação de metrô. A disponibilidade de estacionamento irá guiar para os dados de crescimento

e expectativa de frota elétrica, pois com os corretos incentivos, esta é uma solução de impacto, tanto quanto o ônibus. Dados sobre bicicletas e meios de transporte individual serão apresentados, pois há possibilidade de migração do público atual de bicicletas e que se locomovem a pé para o uso de meios elétricos.

Soluções de transporte em massa usualmente são melhores que soluções de transporte individual, seja pela quantidade de pessoas transportadas, pela otimização de espaço de vias públicas ou pela reduzida emissões per capita, mas infelizmente o desafio para atingimento em uma grande metrópole como São Paulo é tão grande quanto são habitantes. Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), publicada por TATTO, 2015 somente 37,1% das viagens realizadas pelos moradores da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) são feitas em coletivos. Segundo dados da SPTRANS, coletivos esses que totalizam 14.713 veículos cadastrados e autorizados a circular prestando o serviço de transporte coletivo da cidade, divididos em 1.391 linhas e que no ano de 2015 transportaram 2.895.685.377 passageiros.

Números desta magnitude oferecem desafios tão grandes quanto. Mas em grandes cidades, como o caso de Curitiba, a iniciativa de disponibilização de ônibus elétrico é algo real. Desde 2014 houve a entrada em operação de 13 veículos elétricos a serviço da prefeitura, sendo desses, 3 mini ônibus a serviço da população. Em cidades como Belo Horizonte esse movimento também é experimentado e em Campinas 10 ônibus estão em funcionamento, Figura 26. Campinas é destaque, pois além dos ônibus em funcionamento também abriga a fábrica da empresa BYD, que fabrica estes ônibus e vem introduzindo esta nova tecnologia em capitais brasileiras, sendo em São Paulo apenas 1 ônibus em teste. Alguns de seus dados técnicos estão disponíveis na Tabela 8.



Figura 26: Ônibus BYD em funcionamento em Campinas

Tabela 8: Dados técnicos do ônibus BYD k11

Dado	Valor	Unidade
Comprimento	12	metros
Largura	2,55	metros
Altura	3,36	metros
Assentos	25+1	
Velocidade Máxima	70	km/h
Autonomia	>= 250	km
Motorização	Elétrica AC Síncrono (brushless)	
Capacidade de Armazenagem	324	kWh
Carregamento	5	horas

Sobre os veículos, de acordo com dados estatísticos disponibilizados pela ANFAVEA há crescente licenciamento de veículos com motorização elétrica. Os dados apresentados na Tabela 9 estão apresentados em média mensal, em função dos dados de 2016 serem parciais, somente até Abril de 2016, logo sendo desproporcional a comparação com os totais anuais. Esta tabela apresenta completo cenário, não só dos veículos elétricos, como também os veículos a álcool, gasolina, flex e diesel.

Tabela 9: Média mensal de licenciamentos de veículos por tipo de motorização

Ano	Diesel	Elétrico	Flex Fuel	Gasolina	Média Mensal de Licenciamentos
2011	16.725	17	237.344	31.400	285.486
2012	16.440	10	263.573	22.826	302.849
2013	18.432	41	264.093	15.759	298.325
2014	17.273	71	245.042	15.403	277.790
2015	12.459	71	182.835	11.346	206.711
2016	11.743	80	136.940	7.062	155.825

A análise dos dados nos mostra um crescimento na média mensal de 370% para os carros com motorização elétrica, na comparação 2016 contra 2011, há também o evidente ganho de mercado, pois em 2011 os carros elétricos respondiam por 0,0060% dos carros licenciados naquele ano, enquanto que em 2016 os carros elétricos representam 0,0513%, ou seja, um crescimento de 755% na preferência de escolha.

Fatores de preço, oferta, disponibilidade, acesso e consciência ambiental podem estar relacionados a este crescimento, mas é fato que o crescimento é expressivo.

Mesmo com o brutal declínio da média mensal de licenciamentos que ocorre desde o biênio 2012-13, e que chega a uma queda de 48%, em comparação com 2016, o licenciamento de carros elétricos mantém o crescimento detalhado acima. O Gráfico 15 ilustra a Tabela 9. Neste gráfico fica evidente a baixa representatividade dos veículos elétricos em relação ao todo, por isso para evidenciar seu crescimento, o mesmo é apresentado no Gráfico 16.

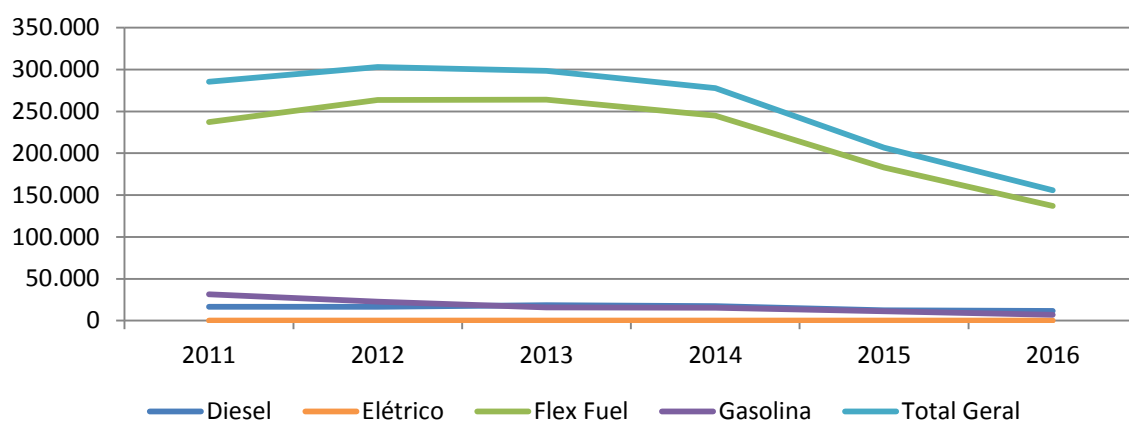


Gráfico 15: Média mensal de licenciamentos de veículos

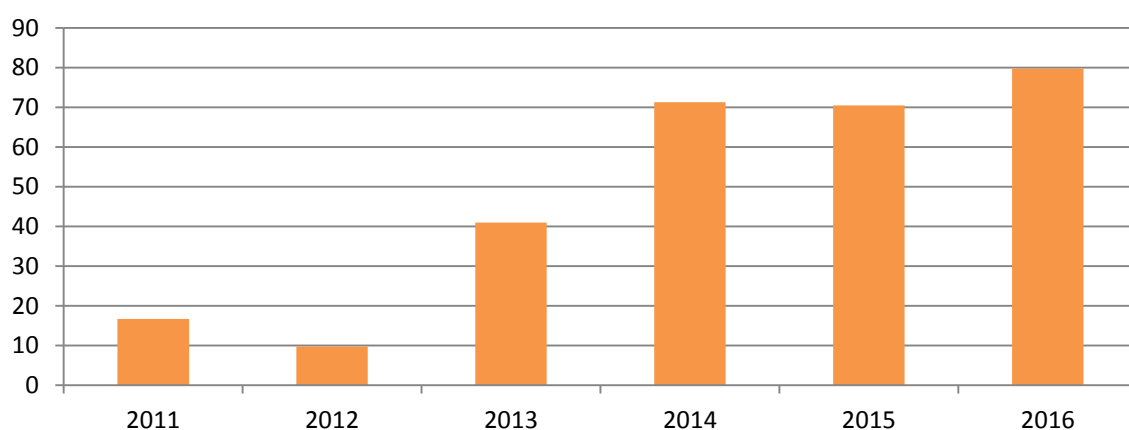


Gráfico 16: Evolução da média mensal de licenciamentos de veículos elétrico

1. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão desenvolvidos os elementos da edificação, os equipamentos e sistema solar fotovoltaico e os potenciais meios de transporte, com objetivo de caracterização e dimensionamento das variáveis pertinentes ao tema, demonstrando a linha de raciocínio adotada e evidenciando os resultados obtidos.

1.1 Caracterização da Edificação

Para desenvolvimento desta monografia foi escolhida uma edificação corporativa na capital do Estado de São Paulo, mais especificadamente na Zona Leste, no quadrilátero das Ruas Ururai, Santa Virginia e Tuiuti com fundos para o Parque do Piqueri (Figura 27), uma segunda visão preliminar também pode ser observada na vista de satélite da Figura 28.

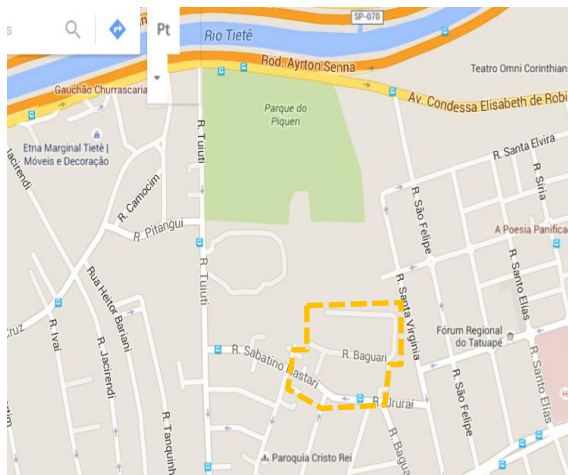


Figura 27: Vista em mapa da região do empreendimento (GOOGLE, 2016)



Figura 28: Vista em satélite da região do empreendimento (GOOGLE, 2016)

Sua escolha tem base em seu perfil horizontal, com no máximo quatro pavimentos (térreo, 1º andar, 2º andar e 3º andar), a presença de dois grandes blocos (galpões) que recebem os quase 5.000 colaboradores em suas atividades administrativas, um terceiro bloco que abriga o restaurante, e ainda mais quatro áreas de estacionamento, como pode ser observado na Figura 29 e descrito na Tabela 10.

1.2 Potencial Solar Fotovoltaico

Para as estimativas de aproveitamento de solar, primeiramente iremos medir a apresentar as áreas em metros quadrados (m²) dos espaços disponíveis e descritos acima, e resumidos na Figura 29. Sendo estes apresentados na Tabela 10.

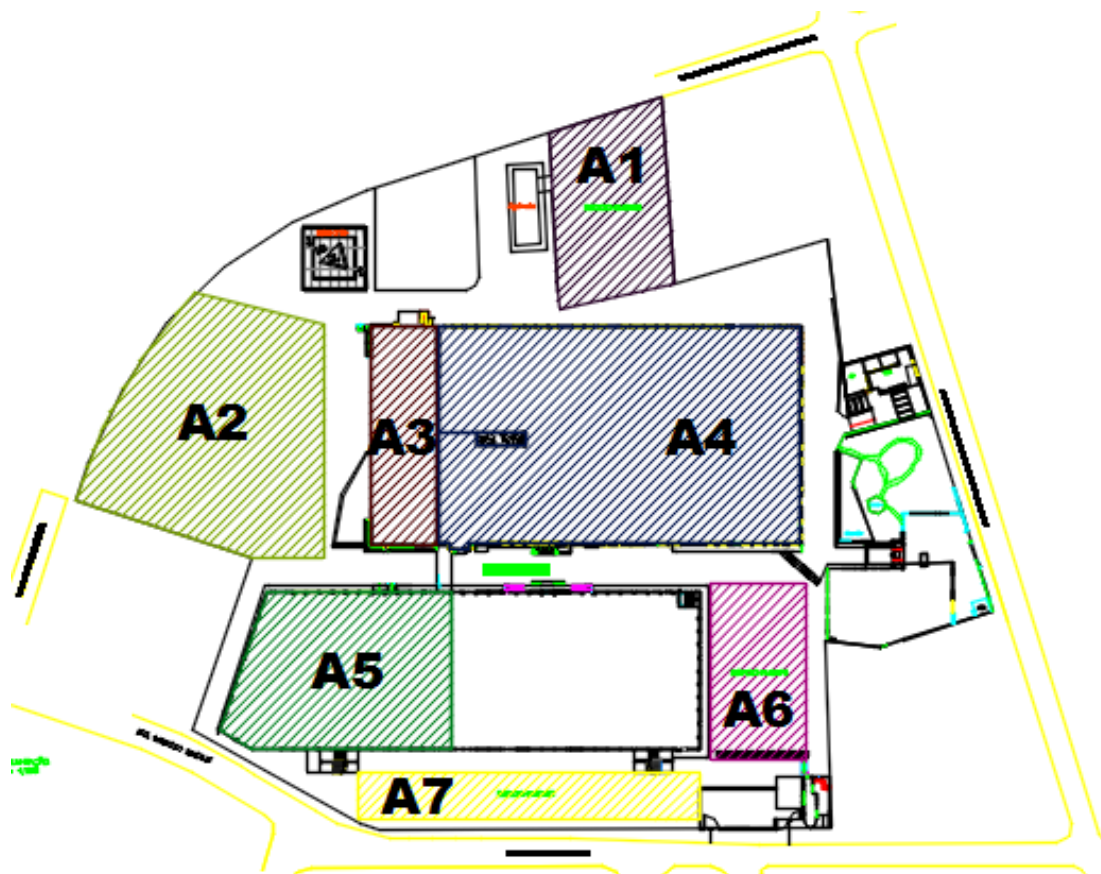


Figura 29: Vista identificada de blocos do empreendimento

Tabela 10: Detalhe de Dimensão e Localização dos blocos do empreendimento

Descrição	Sigla	Área [m ²]	Perímetro [m]	Altura do Solo [m]	Latitude	Longitude
Estacionamento	A1	2.359	200	3,0	23°31'55.0" S	46°34'21.7" O
Desocupada	A2	5.414	288	0,5	23°31'52.9" S	46°34'17.4" O
Restaurante	A3	1.601	189	12	23°31'55.2" S	46°34'19.7" O
Bloco B	A4	8.682	456	16	23°31'55.6" S	46°34'17.3" O
Bloco A	A5	3.662	242	20	23°31'57.6" S	46°34'20.6" O
Estacionamento	A6	1.870	181	3	23°31'58.0" S	46°34'15.6" O
Estacionamento	A7	1.802	259	3	23°31'59.2" S	46°34'18.2" O

Explica-se que a totalidade da área do Bloco A, denominado de A5, não será objeto de estimativas, pois contém os equipamentos de infraestrutura, como por exemplo gerador e ar condicionado.

Assim, totalizando uma área de 25.392,3m², que a partir deste momento se considera localizada em Latitude 23°31'55.6" Sul e Longitude 46°34'17.3" Oeste em função da proximidade de todos os espaços disponíveis e também por conter a maior área para exploração do potencial solar fotovoltaico.

Uma vez apresentada edificação e as áreas potenciais, realizamos um novo trabalho, neste momento analisando a edificação em três dimensões com o auxílio dos softwares Google Earth ® e Sketch Up ® com o objetivo de simulação de insolação e sombreamento das potenciais áreas de instalação dos painéis fotovoltaicos, conforme pode ser observado na Figura 30 e Figura 31.



Figura 30: Vista em maquete virtual do empreendimento

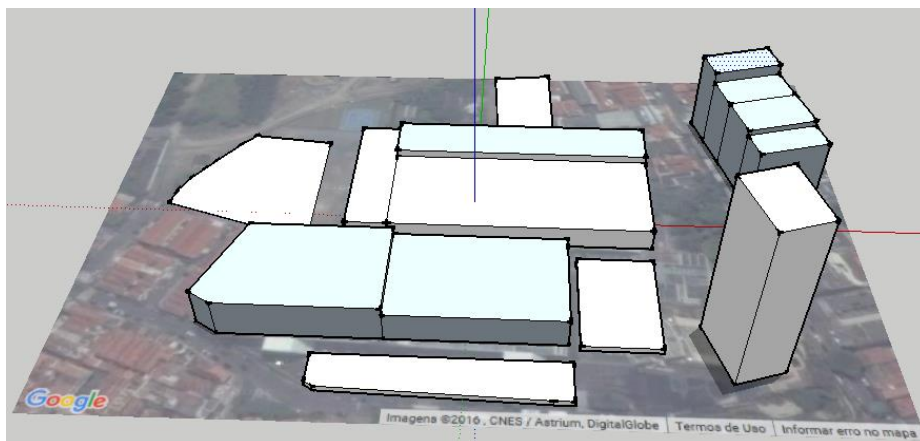


Figura 31: Vista em bloco tridimensional do empreendimento

Para geo-referenciamento, na imagem de satélite pode ser observada no canto superior direito uma bússola apontando o norte, enquanto que no modelo tridimensional de blocos, o centro cartesiano dos eixos x, y, z considera a Latitude 23°31'55.6" Sul e Longitude 46°34'17.3", já comentada, sendo o norte indicado pela linha em verde.

Primeiramente sobre o entorno, identificamos um padrão residencial, predominantemente de casas. Exceto a Leste da edificação em estudo aonde foram identificadas duas grandes construções. A Nordeste um conjunto de quatro prédios, sendo o maior com 45 metros de altura e o menor com 36 metros, e a Sudeste um prédio com 90 metros de altura.

Preliminarmente já podemos ter uma boa expectativa do local escolhido. Embora sejam grandes edificações, a maior delas e que potencialmente pode gerar maior sombreamento, está localizada a Sudeste, assim seguimos os estudos.

Conforme DUFFIE, 2006 a maior parte da potencial insolação pode ser observada em 6 horas diárias. Assim de modo a maximizar a simulação em modelo tridimensional apresentamos abaixo o sombreamento gerado na parte da manhã às 09h e na parte da tarde às 15h, nos dias das trocas de estação para identificação dos limites destas zonas de sombra. A Tabela 11 lista as imagens resultantes das simulações. Isto não representa que a insolação antes das 09h e depois das 15h será desprezada, apenas estamos focando o estudo de sombreamento para o horário de maior intensidade.

Tabela 11: Lista de Figuras de simulações de sombreamento

Data	Mudança de Estação	09h00min	15h00min
21 de Março	Verão para Outono	Figura 32	Figura 33
21 de Junho	Outono para Inverno	Figura 34	Figura 35
21 de Setembro	Inverno para Primavera	Figura 36	Figura 37
21 de Dezembro	Primavera para Verão	Figura 38	Figura 39

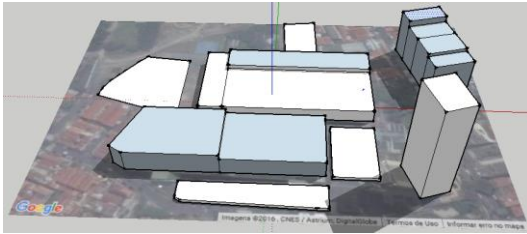


Figura 32: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/mar 09h)

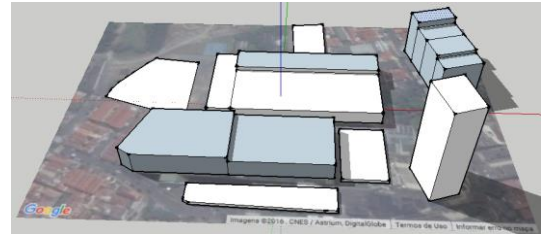


Figura 33: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/mar 15h)

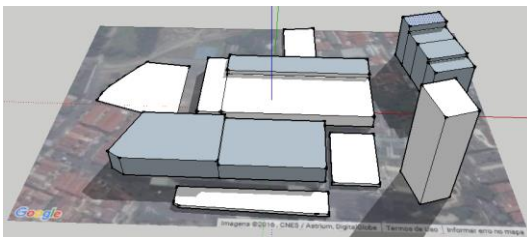


Figura 34: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/jun 09h)

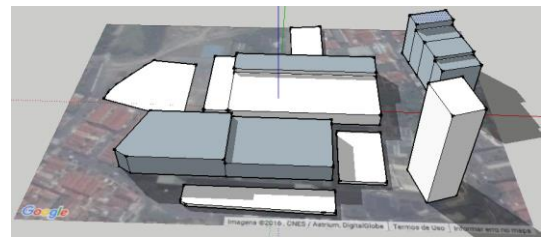


Figura 35: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/jun 15h)

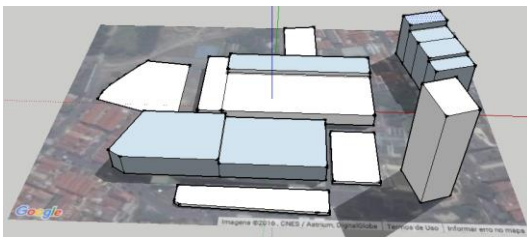


Figura 36: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/set 09h)

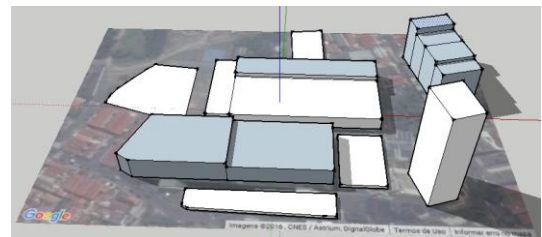


Figura 37: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/set 15h)

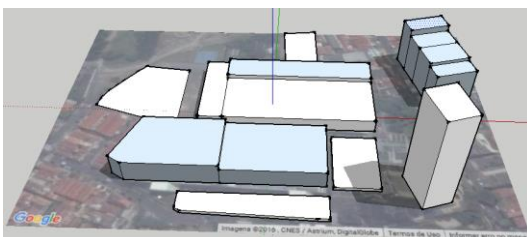


Figura 38: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/dez 09h)

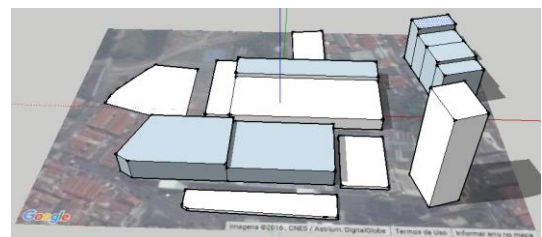


Figura 39: Vista em bloco tridimensional do empreendimento (21/dez 15h)

Pelas oito imagens geradas estima-se nestes horários que menos de 3% da área tenha apresentado sombreamento, e se considerado ao longo do tempo este percentual de sombreamento será ainda menor. Assim, a partir das simulações, pode-se adotar como 0% de sombreamento, e logo, como a totalidade das sete

diferentes áreas para a instalação de painéis solares fotovoltaicos, a ser detalhado adiante.

Como antecipado, as edificações a Leste ofereciam maior impacto no período da manhã, e as simulações mostraram o baixo impacto somente na área de estacionamento A6, sendo que nas demais áreas não ofereceram risco algum. No período da tarde, o próprio prédio em análise, mais específico o Bloco A, ou área A5 ofereceu sombreamento no estacionamento A7, mas isto ocorreu somente no Inverno, assim se mantém a decisão de adoção da totalidade das sete áreas para exploração do potencial solar fotovoltaico.

1.2.1 Seleção do painel solar

Para a escolha do painel solar o estudo se baseia no Programa de Etiquetagem do INMETRO publicado em Janeiro/2016. Como o objetivo é a avaliação da viabilidade, e não é intenção a indicação ou privilegio a nenhum fabricante, foi realizada análise dos produtos que hoje se encontram disponíveis e homologados.

O programa se baseia na avaliação por faixas de Classificação Energética de “A” a “E”, sendo a classe “A” a mais eficiente e a classe “E” a menos eficiente, conforme Figura 40.

CLASSES	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
A	Mais eficiente
B	
C	
D	
E	Menos eficiente

Figura 40: Classificação Energética

Na edição publicada em Jan/2016 temos um total de 489 painéis, mas somente 441 dentro da validade de registro. A classificação energética, também é importante quesito, e por isso segue-se a análise somente com os painéis de classificação “A” e “B”, que totalizam 402 painéis, equivalente a 91% dos painéis dentro da validade, indicadas na Tabela 12.

Tabela 12: Quantidade de Painéis Validos por Classificação Energética

Classificação Energética	Total de painéis	Painéis dentro da validade
A	415	385
B	23	17
C	26	16
D	8	7
E	17	16
Total Geral	489	441

O próximo item avaliado foi a potência dos painéis disponíveis. E para disponibilizar maior número de produto e possibilidades, selecionamos somente os painéis de 201 a 300 W de potência, que correspondem a 67% dos painéis selecionadas até o momento, totalizando 268 opções de painéis, conforme indicado na Tabela 13.

Tabela 13: Quantidade de painéis por classificação energética

Faixa de Potência [W]	Quantidade
1-50	5
51-100	15
101-150	39
151-200	19
201-250	135
251-300	133
301-350	56
Total Geral	402

Neste momento extraímos informações dimensionais dos painéis selecionadas para auxiliar posteriormente no dimensionamento e disposição dos painéis. Na tabela abaixo encontramos 73% dos painéis com comprimento entre 1.600 e 1.699 milímetros [mm], ou seja, uma tendência de mercado e nossa escolha,

conforme indicado na Tabela 14. Bem como, ao ser analisado a largura dos painéis, encontramos 90% com largura entre 900 e 1.000 mm, também uma tendência de mercado, e nossa escolha, conforme indicado na Tabela 15.

Tabela 14: Comprimento de painéis com potência entre 201 e 300 W

[W] \ [mm]	900- 999	1400- 1499	1500- 1599	1600- 1699	1900- 2000	Total Geral
201-250	3	1	5	126		135
251-300	4		3	86	40	133
Total Geral	7	1	8	212	40	268

Tabela 15: Largura de painéis com potência entre 201 e 300 W

[W] \ [mm]	700- 800	800- 900	900- 1000	1000- 1100	1600- 1700	1900- 2000	Total Geral
201-250	1	3	119	9	3		135
251-300			123	6	3	1	133
Total Geral	1	3	242	15	6	1	268

Neste momento apresentamos as características construtivas dos painéis, que preenchem simultaneamente todos os requisitos selecionados, sendo eles, classificação energética “A” e “B”, com potência entre 201 e 300 W, com comprimento entre 1.600 e 1.699 mm e largura entre 900 e 1.000 mm. E assim encontramos disponibilidade de 201 painéis, sendo 73% deles de Silício Policristalino e 27% de Silício Monocristalino, apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16: Material de Composição dos painéis

Faixa de Potência [W]	Silício Mono Cristalino	Silício Poli Cristalino	Total Geral
201-250	30	88	118
251-300	25	58	83
Total Geral	55	146	201

Para este mesmo bloco de painéis selecionados é apresentado na Tabela 17, outra importante informação a ser utilizada na etapa de dimensionamento, que é a eficiência de conversão da energia solar em energia elétrica.

Dos 201 painéis disponíveis, estão selecionadas 187, que representam 93%. E a partir de média ponderada entre estas escolhidas chegamos a uma eficiência de 15,4%, que será utilizada posteriormente no dimensionamento.

Tabela 17: Faixa de Eficiência do Pannel por Material de Composição

Eficiência [%]	Silício Mono Cristalino	Silício Poli Cristalino	Total Geral
13-14	4	7	11
14-15	10	40	50
15-16	21	68	89
16-17	17	31	48
17-18	3		3
Total Geral	55	146	201

1.2.2 Detalhamento das áreas e Painéis Solares

Resumindo esta etapa, utiliza-se o dimensionamento escolhido de 1,70 metros de comprimento por 1,00 metro de largura e inicia-se a construção virtual da estrutura de painéis solares, conforme demonstrado na Figura 41, aonde se evidencia as dimensões. Nesta ilustração também fica nítida a escolha pela inclinação dos painéis em um ângulo de 23° com o plano do solo.

Como as áreas disponíveis no empreendimento são de grande dimensão e com objetivo de manter a padronização, um arranjo padrão é definido e consiste de 5 painéis alinhados que se repetem em 2 linhas. Desta forma, o arranjo padrão e que se repete ao longo das áreas disponíveis, consiste de 10 painéis por arranjo conforme destacado em linhas pontilhadas na Figura 42.

Por setas são destacados corredores de acesso e manutenção aos painéis, estes corredores tem 0,70 metros de distância, tanto nas fileiras de painéis, quanto nos corredores, e durante as simulações também garantem o não sombreamento de uma fileira dianteira na fileira traseira.

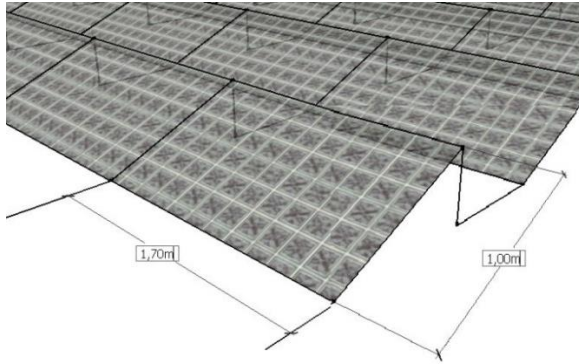


Figura 41: Vista do posicionamento de 1 painel

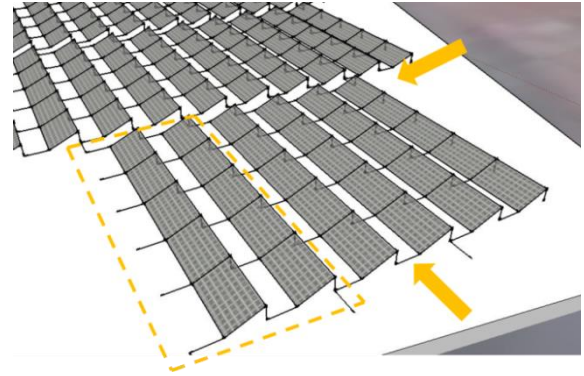


Figura 42: Vista do posicionamento e arranjo construtivo dos painéis

As próximas figuras, com início na Figura 43 e termino na Figura 49, ilustram a disposição dos painéis com destaque a cada uma das sete áreas disponíveis, e evidenciam a construção virtual do arranjo em todo o empreendimento.

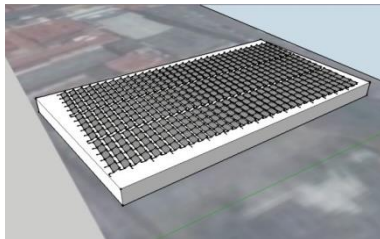


Figura 43: Vista panorâmica da Área A1

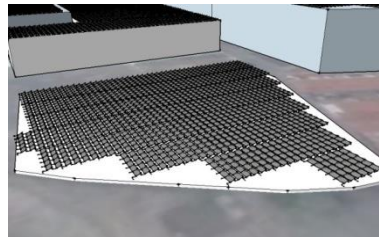


Figura 44: Vista panorâmica da Área A2

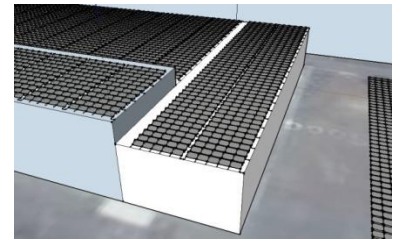


Figura 45: Vista panorâmica da Área A3

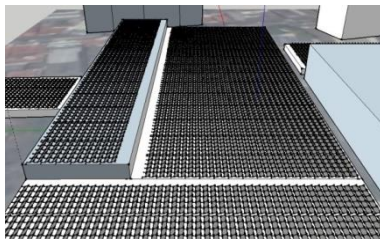


Figura 46: Vista panorâmica da Área A4

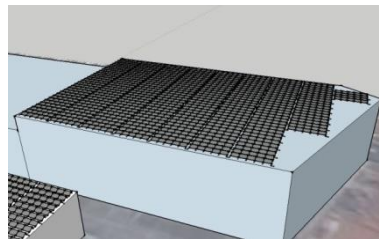


Figura 47: Vista panorâmica da Área A5

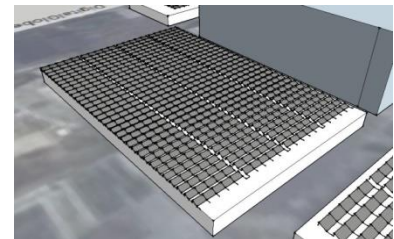


Figura 48: Vista panorâmica da Área A6

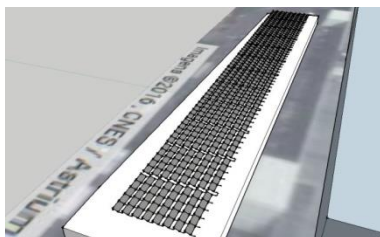


Figura 49: Vista panorâmica da Área A7

Conclui-se um total de 7.430 painéis, que estão distribuídas através das sete diferentes áreas conforme listado na Tabela 18. As duas áreas com maior potencial são as áreas A4 e A5 respectivamente, só elas representam 55%.

Tabela 18: Quantificação dos arranjos e total de painéis instalados

Sigla	Linhas	Colunas	Painéis por Arranjo	Total de Painéis Solares
A1	16	3	10	480
A2	2	6	10	1.260
	2	16		
	2	20		
	2	21		
A3	23	2	10	460
A4	21	14	10	2.940
A5	7	15	10	1.170
	12	1		
A6	16	4	10	640
A7	4	12	10	480
Total				7.430

Após esta etapa conseguimos a construção de uma visão geral e ampla do empreendimento com painéis solares instalados em suas superfícies. Nas figuras a seguir busca-se ilustrar a simulação a partir do observador, o Sol. A Figura 50 mostra uma visão ao meio-dia de uma média estação. Indicado pela linha verde tem-se o alinhamento com o norte, sendo os blocos pretos a representação dos painéis solares. A Figura 51 ilustra a visão do observador a leste, ou seja, ao amanhecer. Enquanto que a Figura 52 simula uma visão do observador a oeste, ou seja, ao entardecer.

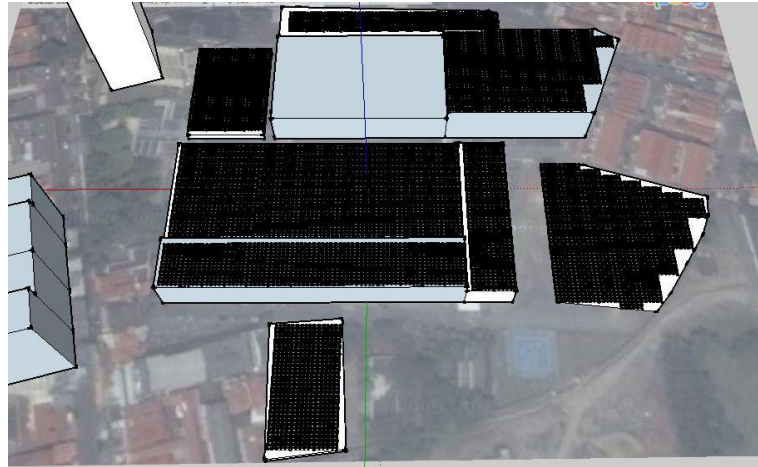


Figura 50: Vista panorâmica do empreendimento ao meio-dia

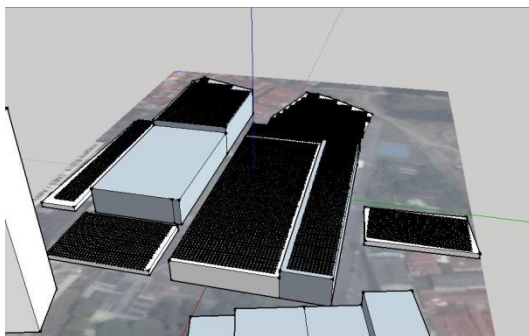


Figura 51: Vista panorâmica do empreendimento ao amanhecer

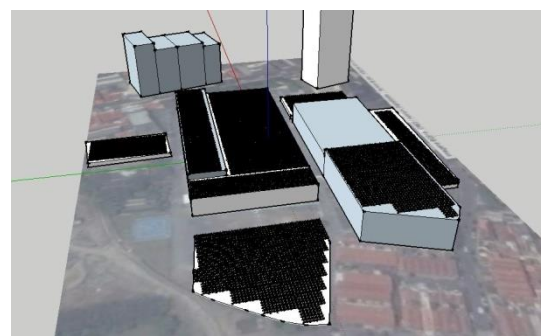


Figura 52: Vista panorâmica do empreendimento ao entardecer

1.3 Simulações da Energia Elétrica

As simulações irão apresentar os dados da carga elétrica do prédio e na posterior seção a simulação do potencial para geração de energia elétrica a partir de painel solar fotovoltaico. No próximo item se apresenta o potencial de mobilidade e as soluções elétricas que serão tratadas como carga no item de resultados e discussão.

1.3.1 Carga Elétrica do Prédio

O cerne desta dissertação busca a análise do uso da energia elétrica fotovoltaica para alimentação de meios de transporte elétrico. Este objetivo será detalhado na etapa de Resultados e Discussão, mas antecipa-se que o mesmo poderá ser atingido de forma líquida, ou seja, a energia fotovoltaica será gerada

pelos painéis solares e será consumida pelo prédio, como um todo. Todas as cargas do prédio se beneficiaram desta energia, sendo elas basicamente, climatização, iluminação, computadores e a recarga dos futuros veículos elétricos.

Não necessariamente a potência gerada pelos painéis solares e a recarga dos veículos irão ocorrer no mesmo instante. Por isso, de forma líquida, a energia gerada e consumo irão equivaler-se. Desta forma, nesta etapa, detalha-se a carga do prédio.

Foram obtidos os dados de consumo horário (24 horas/dia) para o ano de 2015 (365 dias). Toda esta massa de dados foi analisada e seu detalhamento guia-se nos gráficos e análise abaixo.

O Gráfico 17 nos resume o perfil horário médio, da 01h às 24h, dos doze meses do ano de 2015. Em mais detalhe, podemos observar as três linhas que nos mostram a mínima, a média e a máxima potência registrada. Explorando as informações contidas neste gráfico, observa-se nitidamente um perfil sazonal ao longo do ano, que é relacionado às estações do ano, ou seja, quão menor a temperatura, menor a demanda por eletricidade para climatização, nos meses de Maio a Agosto. Enquanto nos meses de Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro são registrados os maiores valores de média, mínimo e máximo.

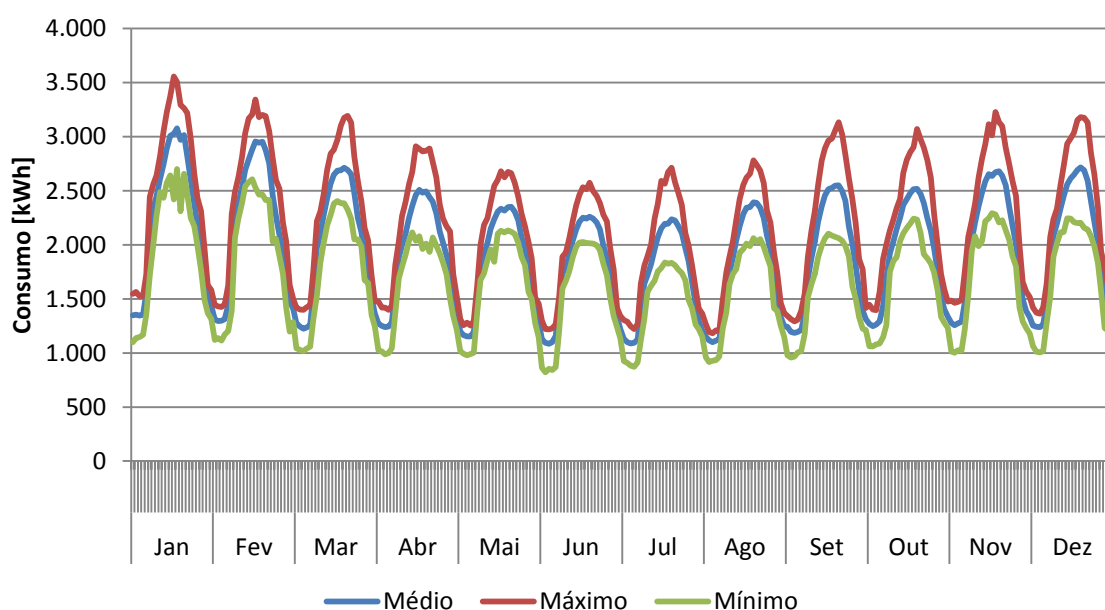


Gráfico 17: Perfil horário diário médio de consumo de energia elétrica ao longo do ano de 2015

Aprofundando a análise da base de dados é possível resumir o comportamento diário mensal do ano em um único comportamento diário exposto no Gráfico 18. Para este gráfico é explicado que o prédio em análise possui atividade 24 horas e que o aumento de consumo experimentado a partir das 06h é explicado tanto pelo aumento de colaboradores em expediente quanto pelo aumento de temperatura externa. Independente da curva, a zona de máximo consumo sempre se localiza no período das 12h às 14h.

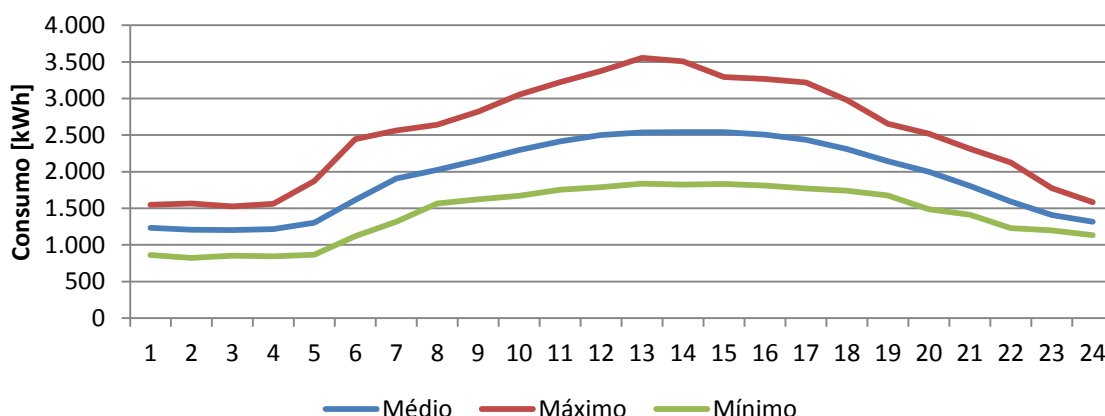


Gráfico 18: Perfil horário diário médio do ano de 2015

Posteriormente a relação será comentada, mas já se antecipa a relação entre o Gráfico 18 com a Figura 3, pois neste momento segrega-se somente o horário das 09h às 15h e detalha-se no Gráfico 19 a probabilidade de ocorrência de faixa de potência em razão do horário filtrado. Desta forma observa-se que as potências médias (de 1.600 a 2.000 kW) tem maior probabilidade de ocorrerem no período da manhã das 09h às 11h, enquanto que as potências máximas tem probabilidade de ocorrência entre as 12h e 14h.

Com o objetivo de maior detalhamento o Gráfico 20, também explora a mesma informação em outro modo de visualização para buscar melhor entendimento do leitor. Neste momento, ao invés de quantificar a distribuição em relação ao universo de potências, se limita também ao horário. Assim um evento entre 3.500 e 3.600 kW tem probabilidade de ocorrer somente entre as 13h e 14h em igual proporção, enquanto que um evento entre 1.600 e 1.700 kW tem maior probabilidade de ocorrer as 09h do que as 10h e nenhuma probabilidade de ocorrer as 11h.

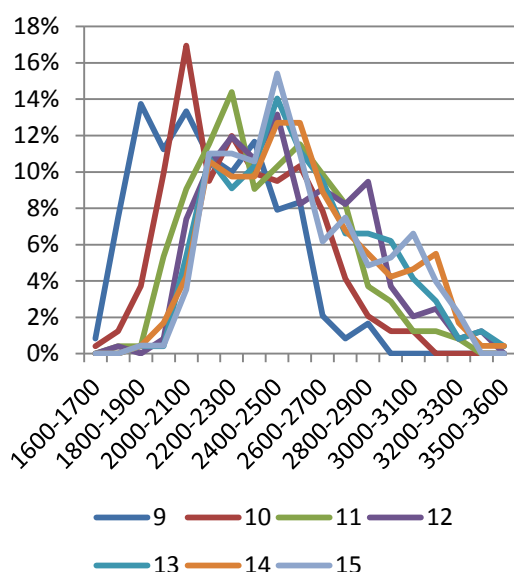


Gráfico 19: Distribuição de Faixa de Potência por horário

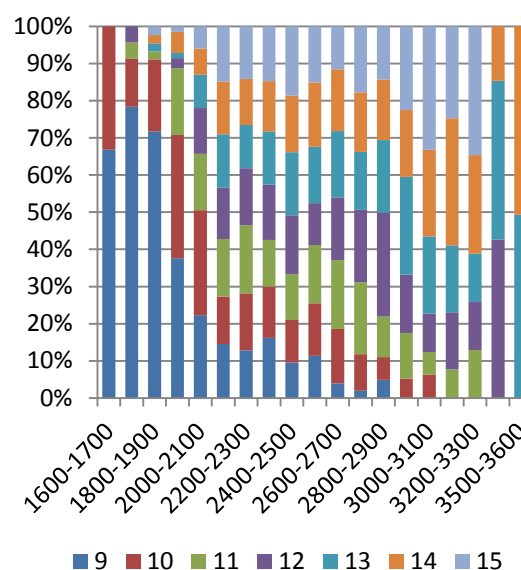


Gráfico 20: Probabilidade de Faixa de Potência por horário

Ou seja, a partir deste levantamento foi possível se verificar que em nenhum momento o sistema de geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos estará maior que a carga do empreendimento, desta forma não sendo estudados sistemas para injeção de potência da rede da concessionária.

1.3.2 Geração Elétrica Fotovoltaica

Para as simulações do potencial de geração elétrica com fonte em painel fotovoltaico recorre-se a renomados Institutos, pois os mesmos tem disponibilidade para apresentação do potencial de insolação para a localização escolhida. Os números apresentados são resultados de medições em equipamentos próximos, bem como interpolações com dados medidos a partir do espaço. O primeiro bloco de dados foi obtido do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito (CRESESB), este dados estão disposto na Tabela 19 e no Gráfico 21.

Tabela 19: Irradiação solar diária média mensal

Ângulo	Inclinação °	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	4,5	5,0	4,1	3,6	3,2	3,0	3,2	3,7	3,8	4,0	5,0	4,5	4,0	2,1
Ângulo igual a latitude	23° N	4,1	4,8	4,2	4,0	3,9	3,8	4,1	4,4	4,0	3,9	4,6	4,1	4,1	1,0

A tabela apresenta a possibilidade de duas inclinações para o painel solar. A primeira a 0° significa que os painéis estão paralelos ao chão e resultam em uma média de insolação anual de $3,96 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ com uma variação (delta) de $2,06 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ entre o mês de maior e o mês de menor insolação. A segunda possibilidade é com o painel inclinado em 23° , a definida no arranjo simulado, aonde se obtém uma média anual 5% maior com $4,14 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ e uma redução de 52% na variação entre o mês de maior e menor insolação, com resultado de $0,98 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$. Estas informações são melhores visualizadas no Gráfico 21.

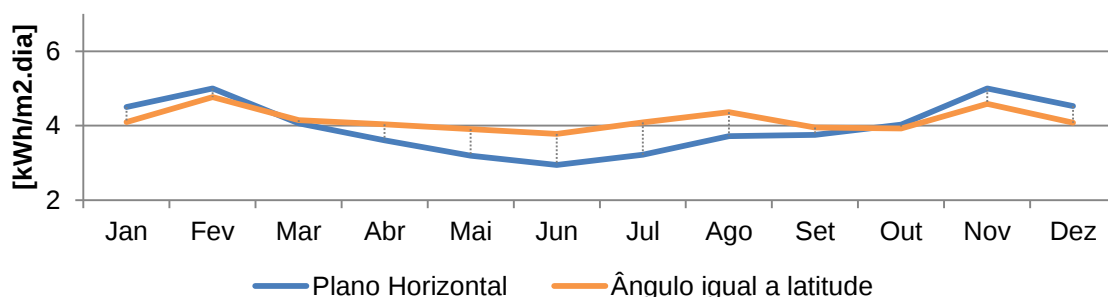


Gráfico 21: Irradiação solar diária média mensal

Os dados do Instituto para o Desenvolvimento para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina (IDEAL) também foram consultados para a mesma localização geográfica e para o plano de inclinação a 0° estes dados estão apresentados no Gráfico 22, abaixo. A média anual obtida é de $4,86 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ e tem perfil muito semelhante a curva do plano horizontal do CRESESB que também é apresentado no gráfico com a linha azul. A média do IDEAL é 23% maior que a do CRESESB e por isso os dados do IDEAL serão descartados. Ficando-se assim com os dados do plano inclinado a 23° do CRESESB que resultam em maior média anual.

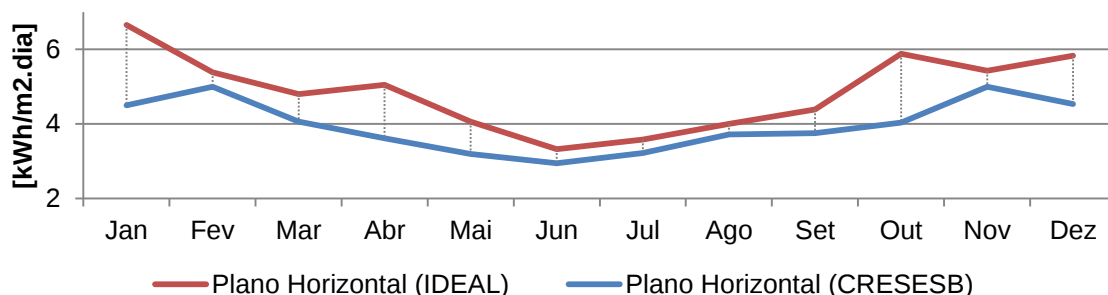


Gráfico 22: Irradiação solar diária média mensal

Os dados do Atlas Solarimétrico (TIBA, 2000) também são ilustrados abaixo na Figura 53.

Note-se que o mesmo possui granulometria continental para as isolinhas de insolação, mas em consonância com os dados do CRESESB. Uma vez que os 4,14 kWh/m².dia são equivalentes a 15 MJ/m².dia, ou seja, em consonância com os 16 MJ/m².dia apresentados no Atlas Solarimétrico.

Isto se deve a parceria de Coordenação, Execução e Financiamento do CRESESB na elaboração do Atlas. Assim além de ilustrar a insolação, também se apresenta a Figura 54 que resume a insolação diária em intervalo de horas, colocando São Paulo (capital) na zona de seis horas de insolação em média por dia.

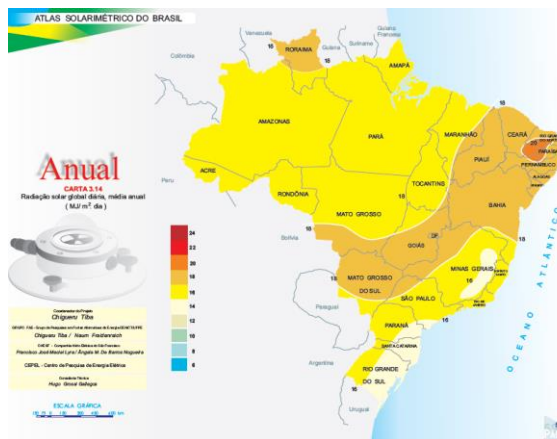


Figura 53: Radiação solar global diária (média anual) em MJ/m².dia

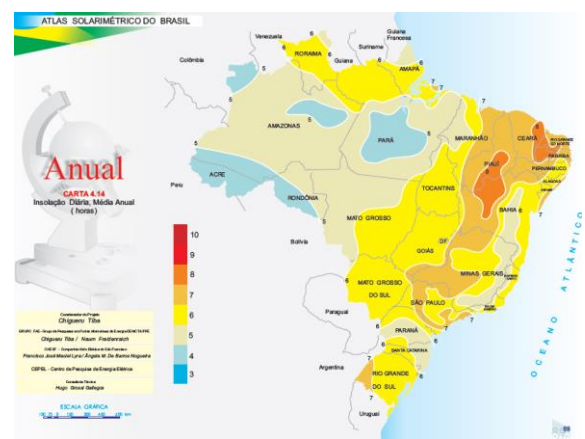


Figura 54: Insolação Diária (média anual) em horas

Consolidando as informações até o momento apresentadas de 7.430 painéis que totalizam 10.700 metros quadrados (m²) de área coletora, com eficiência de conversão de 15,4% para os dados de insolação obtidos pelo CRESESB para um ano de 365 dias resultamos na simulação de geração de energia elétrica apresentada na Tabela 20, que totalizam uma média de 187.275,1 kWh/mês. Para a obtenção deste valor foi adotado a eficiência de 95% para o sistema elétrico de Inversores, equipamento que converte a corrente contínua produzida pelo sistema de painéis solares e converte com a corrente alternada da rede elétrica. Também foi adotada a disponibilidade de 95% para todo o sistema, necessário para eventuais paradas de manutenção. O montante de energia gerado mensalmente é ilustrado no Gráfico 23.

Tabela 20: Resumo de geração de energia elétrica, através da insolação e eficiência do painel solar

Datas	mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Solar	kWh/m².dia	4,1	4,8	4,2	4,0	3,9	3,8	4,1	4,4	4,0	3,9	4,6	4,1
	kWh.dia	43.866,7	51.035,2	44.401,7	43.224,8	41.833,9	40.443,0	43.759,7	46.648,5	42.261,8	41.940,9	49.109,3	43.652,7
	kWh.mes	1.359.868	1.428.985	1.376.452	1.296.743	1.296.850	1.213.289	1.356.552	1.446.104	1.267.855	1.300.167	1.473.280	1.353.235
Elétrica	Eficiência do Painel Solar	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%	15,4%
	Eficiência do Inversor	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%
	Disponibilidade	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%
	Geração Mensal	189.001	198.608	191.306	180.228	180.243	168.629	188.540	200.987	176.213	180.704	204.764	188.079

Também é ilustrada no Gráfico 23 a completa síntese da energia elétrica do empreendimento apresentada na Tabela 21, nesta é evidenciado que o total potencial de geração fotovoltaica é estimada em 15,9% do total da carga do prédio, assim conclui-se que não haverá excedente de energia a ser exportada para a rede.

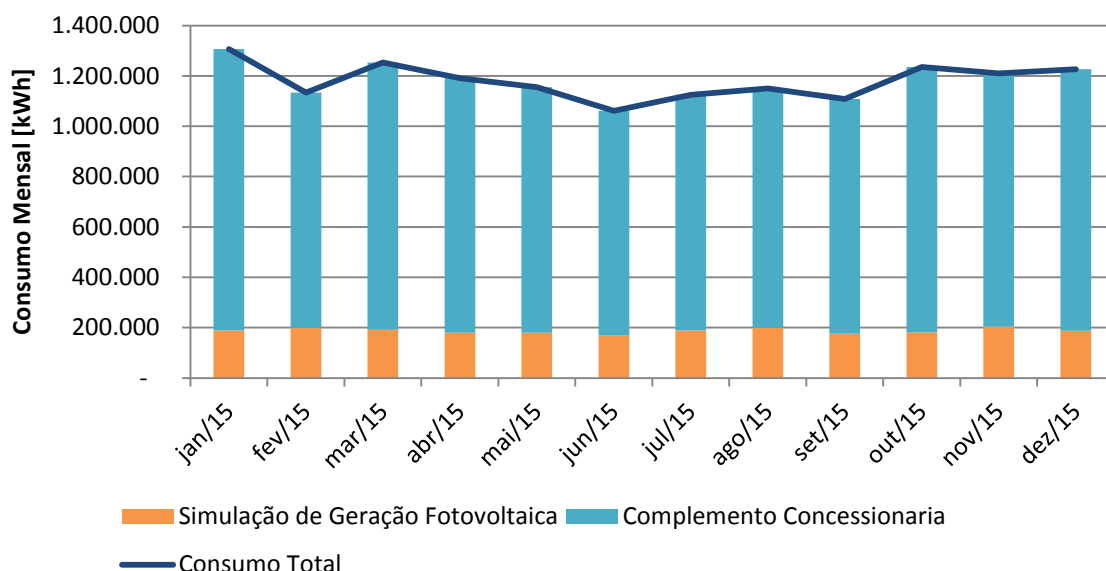


Gráfico 23: Simulação Mensal de Energia Elétrica do Empreendimento

Tabela 21: Dados da Simulação Mensal de Energia Elétrica do Empreendimento

	Consumo Total	Simulação de Geração Fotovoltaica	Complemento Concessionaria
Jan/15	1.306.224	189.001	1.117.223
Fev/15	1.134.261	198.608	935.653
Mar/15	1.252.904	191.306	1.061.597
Abr/15	1.191.135	180.228	1.010.907
Mai/15	1.155.905	180.243	975.662
Jun/15	1.061.487	168.629	892.858
Jul/15	1.124.449	188.540	935.909
Ago/15	1.150.114	200.987	949.127
Set/15	1.108.535	176.213	932.323
Out/15	1.234.942	180.704	1.054.239
Nov/15	1.209.918	204.764	1.005.154
Dez/15	1.226.834	188.079	1.038.755
Total	14.156.709	2.247.301	11.909.407
Representatividade	100,0%	15,9%	84,1%

Comparativamente a Figura 3, e análogo à simulação mensal feita em que se evidencia o percentual de geração solar em relação ao todo, também foi simulado a curva de geração ao longo do dia e comparada com o perfil médio indicado no Gráfico 18. Esta comparação é apresentada na Tabela 22 abaixo e ilustrada no Gráfico 24.

Tabela 22: Simulação de perfil horário

Hora	Médio	Simulação de Geração Fotovoltaica	Complemento Concessionaria	Fração Solar por hora
1	1.233	0	1.233	0%
2	1.209	0	1.209	0%
3	1.203	0	1.203	0%
4	1.217	0	1.217	0%
5	1.304	0	1.304	0%
6	1.616	0	1.616	0%
7	1.906	208	1.698	11%
8	2.026	455	1.571	22%
9	2.156	670	1.486	31%
10	2.297	867	1.429	38%
11	2.416	967	1.449	40%
12	2.500	1.002	1.498	40%
13	2.537	967	1.570	38%
14	2.542	867	1.675	34%
15	2.542	670	1.872	26%
16	2.504	455	2.049	18%
17	2.435	208	2.226	9%
18	2.310	0	2.310	0%
19	2.143	0	2.143	0%
20	2.001	0	2.001	0%
21	1.807	0	1.807	0%
22	1.594	0	1.594	0%
23	1.409	0	1.409	0%
24	1.316	0	1.316	0%

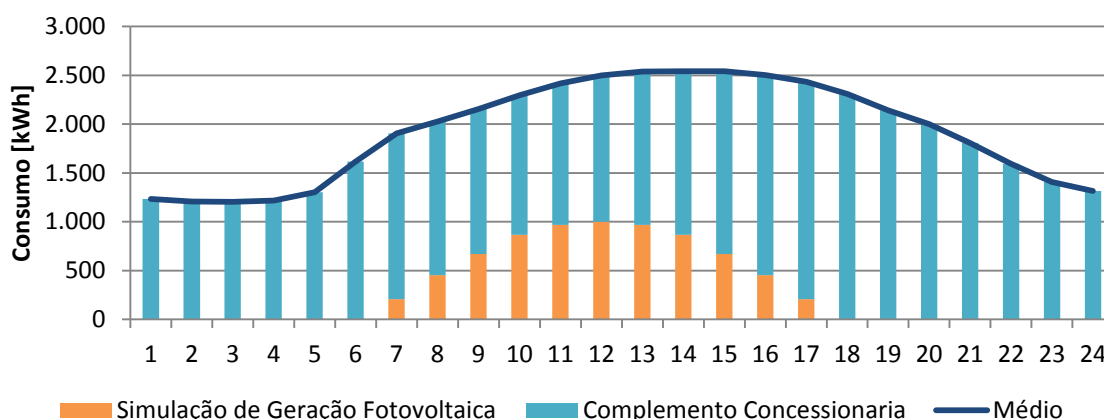


Gráfico 24: Simulação de Perfil Horário

Observa-se no Gráfico 24 que mesmo durante a distribuição horaria há necessidade de complemento da concessionaria de energia. Na Tabela 22 foi incluída a coluna Fração Solar que nos mostra o potencial de geração de energia solar fotovoltaica. Às 12h tem potencial para suprir cerca de 40% da necessidade média do empreendimento, e cálculos nos mostram que esta representatividade pode chegar a 56% nos dias de mínima demanda ou a 30% nos dias de máxima demanda, mais uma vez conclui-se que não há excedente de energia a ser exportada para a rede.

1.4 Potencial de Mobilidade Urbana

Como descrito no início desta secção, o Edifício Corporativo abriga 5.000 colaboradores. Hoje é utilizado como meio de transporte por estes colaboradores às opções descritas na Tabela 23 na proporção apresentada.

Tabela 23: Meios de transporte utilizados e sua volumetria

Meio de Transporte	Quantidade	Proporção
Fretado	3.920	68,4%
Ônibus de Linha	700	14,0%
Carro	320	6,4%
Bicicleta	40	0,8%
A pé	20	0,4%

De acordo com estimativas, cada um dos meios de transportes disponível, contribui com um deslocamento médio em sua individualidade, que proporcional a sua participação irá culminar em uma contribuição de CO₂ eq, que será apresentado adiante. Na Tabela 24, tem-se uma visão da distância média da viagem de cada meio de transporte, e o total de distância que o respectivo meio de transporte contribui.

Tabela 24: Deslocamento médio por meio de transporte

Meio de Transporte	Deslocamento Unitário médio diário [km]	Deslocamento Total médio diário [km]
Fretado	3,0	588,0
Ônibus de Linha	40,0	4.000,0
Carro	50,0	16.000,0
Bicicleta	30,0	1.200,0
A pé	4,0	80,0

Detalhando o meio de transporte com maior alcance aos colaboradores do empreendimento, o Fretado, seu trajeto é feito de forma circular das proximidades do Shopping Metro Boulevard Tatuapé até o Empreendimento em análise. O deslocamento de ida e volta de cada colaborador compreende um total de 3,0 quilômetros (km) por dia, a Figura 55 mostra este percurso. O ônibus tem capacidade para 25 colaboradores e trabalha com ociosidade média de 20%, ou seja, trabalha em média com 80% de sua capacidade máxima. Tem-se em operação 6 ônibus. Em média o trajeto é feito em 6 minutos e ao longo do dia totalizam 171 viagens que somam 588 km dia.

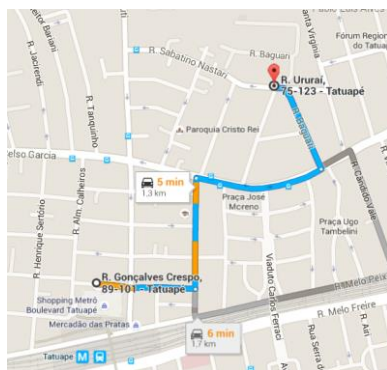


Figura 55: Trajeto do Fretado

Com relação ao ônibus de linha, ou seja, ônibus da Prefeitura Municipal de São Paulo estima-se que em média o colaborador se desloque 20 quilômetros no trajeto de ida e o mesmo deslocamento na volta, totalizando os 40 quilômetros dia. Também se estima que dentro do mesmo ônibus possam ser encontrados 7 colaboradores do banco, assim para o deslocamentos dos 700 colaboradores serão 100 viagens que totalizam os 4.000 quilômetros dia, lembrando que este mesmo ônibus municipal tem capacidade para mais de 60 pessoas em suas rotinas diárias. Em específico para este grupo de colaboradores não será apresentada solução de eletrificação do meio de transporte. Assim este grupo permanecerá isolado e sua contribuição de poluição, quantificada através de quantidade de CO2 equivalente não será levada em consideração, pois é a mesma, antes de depois da proposta de eletrificação da frota.

Na sequencia o meio de transporte que movimenta o terceiro maior grupo de pessoas, o carro. Já através das Tabela 23 e Tabela 24 identifica-se que mesmo transportando um número dez vezes menor de pessoas, o fato de todas elas serem deslocamentos individuais resulta em um deslocamento diário vinte e sete vezes maior, ou seja, a proposta de eletrificação da frota deste grupo trará grande impacto positivo e possivelmente a maior redução ao impacto ambiental, transformando a imagem dos estacionamentos de veículos movidos a combustível fóssil em um estacionamento de veículos elétricos, Figura 56.



Figura 56: Visão dos estacionamentos

Sobre o grupo de colaboradores que hoje se deslocam através de bicicleta ou a pé, também se estima que o grupo vá permanecer congelado e não irá haver migração entre grupos. O bicicletário está disponível no empreendimento desde 2012 e não houve grande aderência. Menos de 1% da população o utiliza, muito em função das condições de tráfego e aparente risco a saúde (lesões e afastamentos) e vida do colaborador. Aos colaboradores que hoje utilizam bicicleta e ao grupo que se desloca a pé, para efeito de cálculos será utilizado o deslocamento com bicicleta elétrica na oportunidade de estimativas de mobilidade elétrica que se dará a diante. Na Figura 57 apresentamos a circunvizinhança viária do empreendimento e nota-se a presença de grandes rotas viárias de caminhões e de tráfego intenso de veículos, como a Marginal Tiete com proximidade as Rodovias Dutra e Carvalho Pinto e Avenidas Salim Farah Maluf, Aricanduva e Radial Leste, sendo assim evidenciado o risco a saúde e vida anteriormente citados.

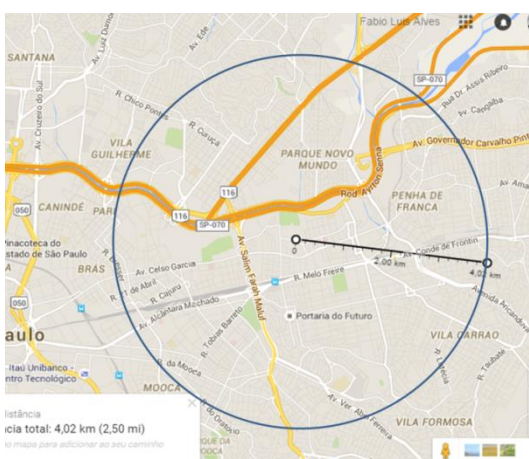


Figura 57: Circunvizinhança viária do empreendimento

Desta maneira resumimos os deslocamentos dos meios de transportes listados em CO2 equivalente e através da informação de Potencial de Alerta Global do gás de efeito totalizamos os outros gases de efeito estufa.

O Potencial de Alerta Global, ou em inglês *Global Warning Potential* (GWP) é uma medida para relativizar outros gases de efeito estufa em função do seu potencial danoso na atmosfera, sendo o dióxido de carbono (CO₂) o potencial 1, ou seja, é visto como a base de comparação. A Tabela 25 mostra alguns desses potenciais.

Tabela 25: Tabela de Potencial de Alerta Global (IPCC, 2006)

Gás	GWP
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

Dando sequência as análises foi adquirido à informação do Fator de Emissão (FE) (IPCC, 2006) para os combustíveis utilizados nos veículos, sendo o Diesel B7 considerado para o Fretado e Etanol e Gasolina para os veículos utilizados pelos colaboradores, apresentado na Tabela 26.

Tabela 26: Fator de Emissão (FE) de poluentes por combustível (IPCC, 2006)

Insumo	unid.	FE CO₂ kgCO₂ / unid.	FE CH₄ kgCH₄ / unid.	FE N₂O kgN₂O / unid.
Diesel B7	l	2,62	0,0001	0,00014
Etanol	l	1,70	0,0004	0,00031
Gasolina	l	2,24	0,0008	0,00026

Através da multiplicação pelo GWP resumimos a informação de CO₂ equivalente, apresentada na Tabela 27, abaixo.

Tabela 27: Fator de Emissão (FE) em CO₂ equivalente

Insumo	unid.	FE CO₂ eq. kgCO₂ / unid.
Diesel B7	l	2,67
Etanol	l	1,80
Gasolina	l	2,34

Ao consolidarmos as informações de desempenho médio dos veículos apresentados na Tabela 28, com as distâncias percorridas apresentadas na Tabela 24 e o CO₂ equivalente da Tabela 27, tem-se na Tabela 29 a informação diária, mensal e anual de potencial de poluição produzido através da medida de CO₂ equivalente, nesta foi estimado a distribuição em 50% entre os veículos a etanol e 50% de veículos a gasolina.

Tabela 28: Desempenho dos meios de transporte

Meio de Transporte	Desempenho em km/l
Ônibus a diesel	6,0
Carro a gasolina	10,0
Carro a etanol	9,0

Tabela 29: Potencial Poluidor em CO2 equivalente

Meio de Transporte	kg CO2 eq./dia	Ton. CO2 eq./mês	Ton. CO2 eq./ano
Fretado	261,5	5,75	69,04
Carro	3.300,0	72,60	871,20
Total	3.561,5	78,35	940,24

Desta forma a utilização de combustíveis fósseis totaliza aproximadamente em 1 mil Toneladas ano de CO2 equivalente na atmosfera anualmente para o deslocamento de 4.240 colaboradores, e é esse montante que busca-se neutralizar pelo transporte em veículos elétricos.

Embora não disponibilizados os dados por fabricante no Gráfico 16, mundialmente são reconhecidos alguns modelos e fabricantes, sendo eles, listados abaixo na Tabela 30, para a verificação do montante de energia equivalente ao atual deslocamento.

Tabela 30: Fabricantes e Modelos de Veículos Leves Elétricos

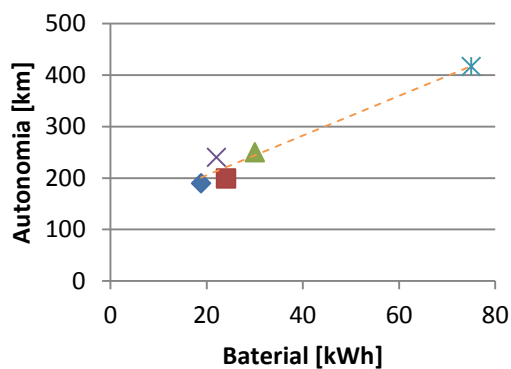
Fabricante	Modelo
BMW	i3
Nissan	Leaf
Renault	Zoe
Tesla	Model S

Na sequência, através de levantamento das fichas técnicas dos fabricantes e respectivos modelos foi elaborada a Tabela 31 com especificações técnicas dos dados elétricos de maior significância para a elaboração deste trabalho, por exemplo, dados como torque, velocidade máxima e aceleração não foram listados, pois não são limitantes nem oferecem impeditivo.

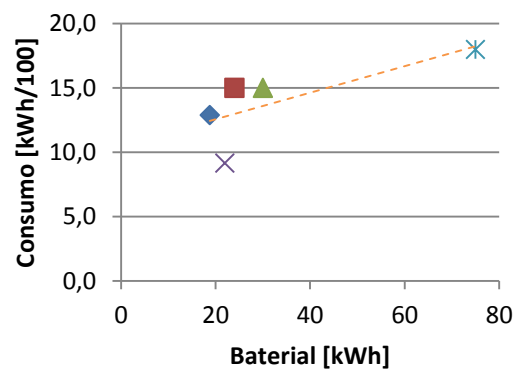
Tabela 31: Dados de fichas técnicas de veículos elétricos

Dados	Unidade	BMW i3	Nissan Leaf (a)	Nissan Leaf (b)	Renault Zoe	Tesla Model S
Consumo Elétrico	kWh/100 km	12,9	15,0	15,0	9,2	18,0
Capacidade da Bateria	kWh	18,8	24	30	22	75
Autonomia da Bateria	km	190	199	250	240	417
Tempo de Recarga (carregador a bordo)	horas	6 - 8	7 - 10	5 - 13	7 - 10	0,7 - 1,2
Tempo de Recarga (carregador rápido)	horas	0,5	0,5	0,6	1	0,1

Destes dados, é plotado o Gráfico 25 que evidencia o aumento da autonomia com o aumento da capacidade da bateria, e em destaque o veículo com conceito empresarial e tecnologia de ponta da marca Tesla. O destaque da tecnologia da Tesla também fica evidente no Gráfico 26 que mostra o elevado consumo de energia a cada 100 km rodados, sendo o grande destaque o carro popular da Renault.



◆ BMW i3 ■ Nissan Leaf (a)
 ▲ Nissan Leaf (b) ✕ Renault Zoe
 ✕ Tesla Model S - - - Linear

Gráfico 25: Relação entre bateria e autonomia de veículos elétricos

◆ BMW i3 ■ Nissan Leaf (a)
 ▲ Nissan Leaf (b) ✕ Renault Zoe
 ✕ Tesla Model S - - - Linear

Gráfico 26: Relação entre bateria e consumo de veículos elétricos

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa, após analisada a teoria da energia solar e dos veículos elétricos, as interações no meio ambiente, das cidades e dos cidadãos. Aprofundado em detalhes a estrutura de um empreendimento na zona leste de São Paulo, seu potencial solar fotovoltaico, e ainda, estudado sua carga elétrica e deslocamento de seus colaboradores, chega-se ao ponto de estruturar o resultado em números.

Desta maneira, neste capítulo, o objetivo é apresentar comparação entre os resultados obtidos individualmente por cenário. Para isso será apresentado estudo de viabilidade econômica para cenários hipotéticos e descritos na Tabela 32 e na tentativa de incrementar o estudo de viabilidade e direciona-lo para a sua efetiva implantação será incorporado o viés ambiental, através do carbono equivalente, ou melhor, dizendo, da não emissão de poluentes pelo uso de transporte elétrico.

Tabela 32: Descrição dos Cenários simulados para implantação de energia solar

Cenários	Descrição
Cenário 1	Instalação total do potencial solar fotovoltaico e utilização somente na substituição da energia elétrica da rede, sem qualquer utilização em mobilidade elétrica.
Cenário 2	Instalação parcial do potencial solar fotovoltaico, somente para a utilização em mobilidade elétrica em substituição aos meios de transporte de combustível fóssil.
Cenário 3	Instalação total do potencial solar fotovoltaico para a utilização em mobilidade elétrica em substituição aos meios de transporte de combustível fóssil e o excedente na substituição da energia elétrica da rede.

Para a apresentação dos resultados de viabilidade econômica utilizam-se três indicadores clássicos da análise de viabilidade de projetos: Payback Simples, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

O Payback Simples, como seu próprio nome diz, é uma forma rápida e imediata de se avaliar o tempo de retorno do investimento, dividindo o mesmo pelo retorno ou custo evitado por período. Sua desvantagem é desconsiderar o preço do dinheiro no tempo, os juros.

Para mitigar a desvantagem do Payback Simples, será utilizada a metodologia de Valor Presente Líquido (VPL) que de forma mais elegante considera o fluxo de caixa do investimento e dos retornos ou custos evitados no tempo a uma taxa de desconto, precificando assim, o dinheiro no tempo. De modo que o resultado do VPL sendo positivo o projeto traz retorno, se negativo não.

Outro indicador será a Taxa Interna de Retorno (TIR) que é a taxa de desconto aonde todos os fluxos de caixas futuros e o investimento inicial se igualam a zero, ou seja, a taxa aonde o VPL é igual à zero. A avaliação da TIR permite identificar qual projeto é mais rentável, quão maior a TIR. Ainda é esperado que a TIR seja no mínimo igual ou maior que a taxa de atratividade do investidor, que simplesmente é a comparação com uma outra aplicação de menor risco, por exemplo uma aplicação bancária.

2.1 Simulação do Cenário 1

No Cenário 1 simula-se a substituição parcial da energia elétrica do empreendimento por energia solar, conforme explanado no item 2.3, gerada a partir da totalidade do potencial solar identificado no item 2.2.2.

Os custos com os painéis solares representam em média 60% do investimento (SOWMY, 2015 apud Sick & Erge, apud Rüther), e por ser o item mais caro do projeto vamos começar as estimativas com ele. Posteriormente iremos voltar para verificar se a representatividade média também se constata. Hoje os custos com painel são da ordem de US\$ 0,30/W, conforme verificado no mercado internacional e evidenciado na Figura 5. Desta maneira para os 7.430 painéis (Tabela 18) de 250W/cada, com razão de conversão do real brasileiro para o dólar americano estimado em R\$ 3,70/US\$ e ainda com carga tributária estimada em 36%

(IMPOSTOMETRO, 2016) chega-se ao investimento total de R\$ 3.221.601,56. A Tabela 33 apresenta em resumo estas informações.

Tabela 33: Resumo do Investimento em Painéis Solares

Item	Valor	Unidade
Painéis	7.430	qtde
Potencia	250	W
Custo por Watt	0,3	US\$/W
Real - Dólar	3,7	R\$/US\$
Custo Brasil	36	%
Investimento painéis	3.221.601,56	R\$

Uma primeira análise nos mostra um custo por painel solar de R\$ 433,59. Recorrendo ao mercado brasileiro através de consultas e cotações (MINHA CASA SOLAR e CASAS BAHIA, 2016) o preço de painel solar com a mesma especificação técnica é da ordem de R\$ 1.026,19 (variando de R\$ 876,00 a R\$ 1.299,00). Ou seja, o preço médio do mercado brasileiro (R\$ 1.026,19) está 137% superior ao preço do mercado internacional. Dada tamanha distorção, a diferença de R\$ 442,41 por painel (se comparado com o mais barato) será adicionado ao investimento total em painéis, e o novo valor de investimento é de R\$ 6.508.680,00.

O segundo investimento de maior monta é o inversor. Equipamento já explicado tem seu dimensionamento baseado na potência de conversão de corrente contínua com origem nos painéis solares e a corrente alternada que entrega para a carga, sendo maior a potência vinda dos painéis, pois conforme já estimado, existem perdas na conversão.

Os 7.430 painéis de aproximadamente 250 W irão disponibilizar uma potência pico de 1.857,50 kW, ou 1,8 MW. Como apresentado na seção de seleção dos painéis existe disponível em mercado painéis de até 285 W que preenchem os requisitos selecionados, neste caso a potência pico seria da ordem de 2,1 MW.

Desta maneira para atender a demanda elétrica e na busca pela melhor oportunidade financeira será escolhido o Inversor PV500WD da empresa GPTech apresentado na InterSolar, 2015, por ser da linha de produtos PV_WD credenciados no BNDES com o código 3238498.

Para este cenário serão necessários quatro (4) inversores. A escolha de quatro inversores de 500 kW de potência ao invés de dois inversores de 1.000 kW

de potência foi feita baseada em critérios de modularidade e entrega em fases das instalações de painéis solares, bem como durante a operação mitigar o risco de não utilização da energia com origem dos painéis solares em função de falha do inversor.

Na ocasião da apresentação do produto (INTERSOLAR, 2015) o mesmo era negociado a R\$ 400.000,00 cada. Sendo atualizado pelo índice de inflação IGPM de Setembro/2015 até Maio/2016 (BACEN, 2016), o mesmo é reajustado em 9,29%, passando sua estimativa para R\$ 437.168,28, cada. Logo o total investido em inversores fica estimado em R\$ 1.748.673,12.

Os outros custos como Instalação e Balanço do Sistema (tradução livre do termo em inglês *Balance of System*, que corresponde a cabos, fios, interruptores, caixas, fusíveis, detectores de falta a terra, disjuntores, entre outros) correspondem juntos, a 25% do projeto, e serão avaliados por estimativa.

Partindo de premissas gerais de projetos de energia solar fotovoltaica, e adotando como ponto de partida os painéis solares como representando 60% dos custos do projeto estima-se o investimento total em R\$ 10.847.800. De mesmo modo, isoladamente adotando os inversores como representantes de 15% do projeto, estima-se o investimento total em R\$ R\$ 11.657.821.

Por considerar estas duas estimativas muito próximas, variação apenas de 7%, adota-se a estimativa de custos com painéis e inversores como representantes de 75% do custo do projeto, sendo os demais 25% estimados, conforme Tabela 34.

Tabela 34: Resumo do Investimento do Cenário 1

Item	Valor	Unidade
Painéis	6.508.680,00	R\$
Inversores	1.748.673,12	R\$
Subtotal (75%)	8.257.353,12	R\$
25% (estimado)	2.752.451,04	R\$
Total do investimento	11.009.804,16	R\$

De posse do investimento inicia-se a etapa para simulação dos custos evitados com a geração de energia elétrica a partir de painéis solar. De forma direta o montante de energia gerada equivale à energia elétrica que vai se deixar de consumir da concessionária, e este montante equivale a 2.247.301 kWh/ano, conforme apresentado na Tabela 21. Este montante de energia hoje é precificado

em 0,55 R\$/kWh na concessionária Eletropaulo na tarifação A4 – Verde. Nestas condições o custo evitado anualmente será de R\$ 1.236.015,55. O resumo destas informações está na Tabela 35.

Tabela 35: Resumo do Custo evitado Cenário 1

Item	Valor	Unidade
Consumo anual	14.156.709,00	KWh
Energia elétrica de fonte solar FV	2.247.301,00	KWh
Tarifa	0,55	R\$/kWh
Custo evitado anualmente	1.236.015,55	R\$

Desta maneira consegue-se avaliar o resultado financeiro e a análise de viabilidade econômica para este cenário. Para a análise de VPL será usada uma taxa de desconto de 7,5% ao ano, consistente com o mercado de longo prazo, valor este, médio entre a estimativa de inflação no centro da meta de 4,5% e taxa SELIC a 10,5% para os próximos anos (FOCUS, 2016). Já se afirma que para todos os cenários serão simuladas as análises econômicas com estes valores pelo período de 15 anos. Este período é considerado adequado, do ponto de vista dos painéis solares, cuja vida útil é de 25 anos, e no período de 15 anos não iremos considerar perda de eficiência na conversão, e do ponto de vista de investimento é um período de médio prazo para aplicação de recursos desta monta em um ambiente de infraestrutura elétrica, aonde identificamos contratos e leilões com vigência de até 30 anos.

A Tabela 36 apresenta o resumo destes três indicadores de análise do Cenário 1. A Tabela 37 mostra os fluxos de caixas elaborados para obtenção dos indicadores e o Gráfico 27 ilustra o fluxo de caixa previsto.

Tabela 36: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica do Cenário 1

	PB simples	VPL (@7,5%, 15 anos)	TIR
Cenário 1	8,9	-R\$ 92.415,71	7,4%

Tabela 37: Fluxo de Caixas do Cenário 1

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado Simples	Fluxo de Caixa Acumulado com Taxa
0	-R\$ 11.009.804,16	-R\$ 11.009.804,16	-R\$ 10.241.678,29
1	R\$ 1.236.015,55	-R\$ 9.773.788,61	-R\$ 9.172.113,72
2	R\$ 1.236.015,55	-R\$ 8.537.773,06	-R\$ 8.177.169,94
3	R\$ 1.236.015,55	-R\$ 7.301.757,51	-R\$ 7.251.640,84
4	R\$ 1.236.015,55	-R\$ 6.065.741,96	-R\$ 6.390.683,54
5	R\$ 1.236.015,55	-R\$ 4.829.726,41	-R\$ 5.589.793,03
6	R\$ 1.236.015,55	-R\$ 3.593.710,86	-R\$ 4.844.778,60
7	R\$ 1.236.015,55	-R\$ 2.357.695,31	-R\$ 4.151.741,92
8	R\$ 1.236.015,55	-R\$ 1.121.679,76	-R\$ 3.507.056,64
9	R\$ 1.236.015,55	R\$ 114.335,79	-R\$ 2.907.349,40
10	R\$ 1.236.015,55		-R\$ 2.349.482,20
11	R\$ 1.236.015,55		-R\$ 1.830.535,96
12	R\$ 1.236.015,55		-R\$ 1.347.795,28
13	R\$ 1.236.015,55		-R\$ 898.734,18
14	R\$ 1.236.015,55		-R\$ 481.002,93
15	R\$ 1.236.015,55		-R\$ 92.415,71

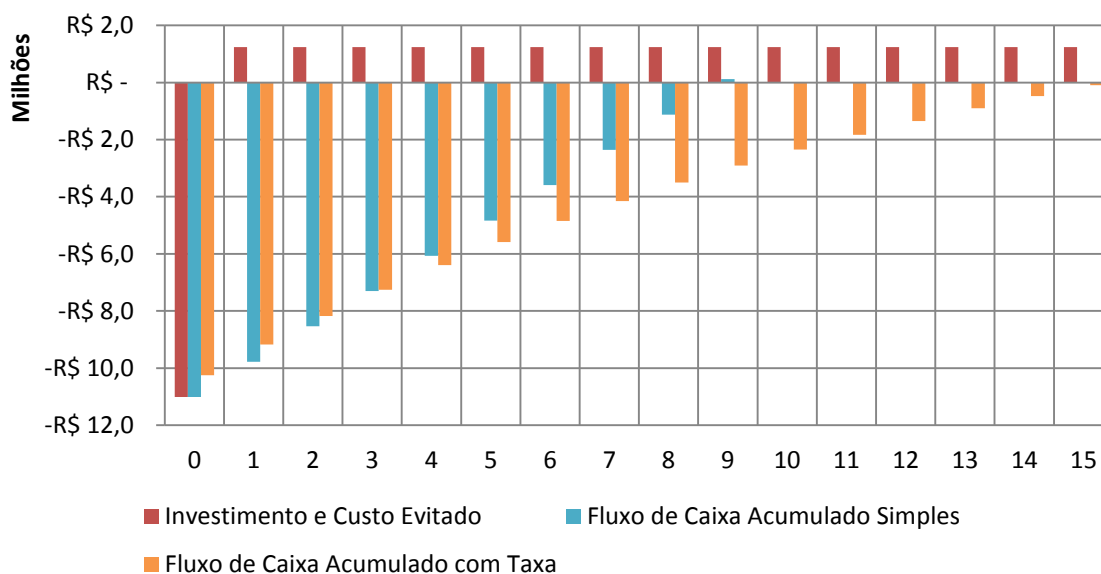


Gráfico 27: Resumo Cenário 1

2.2 Simulação do Cenário 2

No Cenário 2 simula-se a substituição total da energia elétrica dos meios de transporte elétrico, ou seja, do total potencial solar fotovoltaico, somente uma parte será instalada, a parte que é equivalente ao montante de energia consumida pelos meios de transporte elétricos, Tabela 38, obtido pelo deslocamento diário da Tabela 24 e Desempenho Médios da Tabela 8 e Tabela 31.

Tabela 38: Consumo de energia com Meios de Transporte Elétrico

Meio de Transporte	Deslocamento Total médio diário [km]	Desempenho Médio [kWh/100km]	Consumo de energia [kWh/ano]
Fretado	588	129,6	201.180,7
Carro	4.000	14,0	147.840,0
Bicicleta	1.200	0,5	1.584,0
Total	5.788	-	350.604,7

Assim do total de potencial solar apresentado na Tabela 21 de 2.247.301 kWh/ano, somente 15,6% será necessário para suprir os 350.604,7 kWh/ano dos meios de transporte elétrico.

Como a necessidade de substituição de energia elétrica é menor, a necessidade de cobertura de painéis solares também é menor, ficando restrito a 1.160 painéis. A potência elétrica para conversão também é menor, sendo necessário o investimento em apenas um inversor.

Logo neste cenário o custo do investimento inicial é menor e está apresentado na Tabela 39, seguindo as mesmas premissas do Cenário 1.

Tabela 39: Resumo do investimento do Cenário 2

Item	Valor	Unidade
Painéis	1.016.160,00	R\$
Inversores	437.168,28	R\$
Subtotal (75%)	1.453.328,28	R\$
25% (estimado)	484.442,76	R\$
Total do investimento	1.937.771,04	R\$

Para precificar os custos evitados, seguem-se as mesmas premissas adotadas no Cenário 1, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 40.

Tabela 40: Resumo do Custo evitado Cenário 2

Item	Valor	Unidade
Consumo anual	14.507.313,67	KWh
Energia elétrica de fonte solar FV	350.604,67	KWh
Tarifa	0,55	R\$/kWh
Custo evitado anualmente	192.832,57	R\$

Como foi escolhido pela padronização na escolha do inversor, neste cenário ele ficou sob-dimensionado. Este excesso de investimento fica nítido ao observar os parâmetros de viabilidade econômica apresentados na Tabela 41, pois o retorno apontado pelo payback simples ficou mais distante no tempo, bem como a TIR ficou menor, ambos em comparação aos indicadores econômicos do Cenário 1 apresentado na Tabela 39. No Gráfico 28, que foi mantido os limites superiores idênticos ao Cenário 1, pode-se observar a proporção entre os investimentos iniciais e na Tabela 42 pode-se identificar o fluxo mensal.

Tabela 41: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica do Cenário 2

	PB simples	VPL (@7,5%, 15 anos)	TIR
Cenário 2	10,0	-R\$ 219.176,61	5,5%

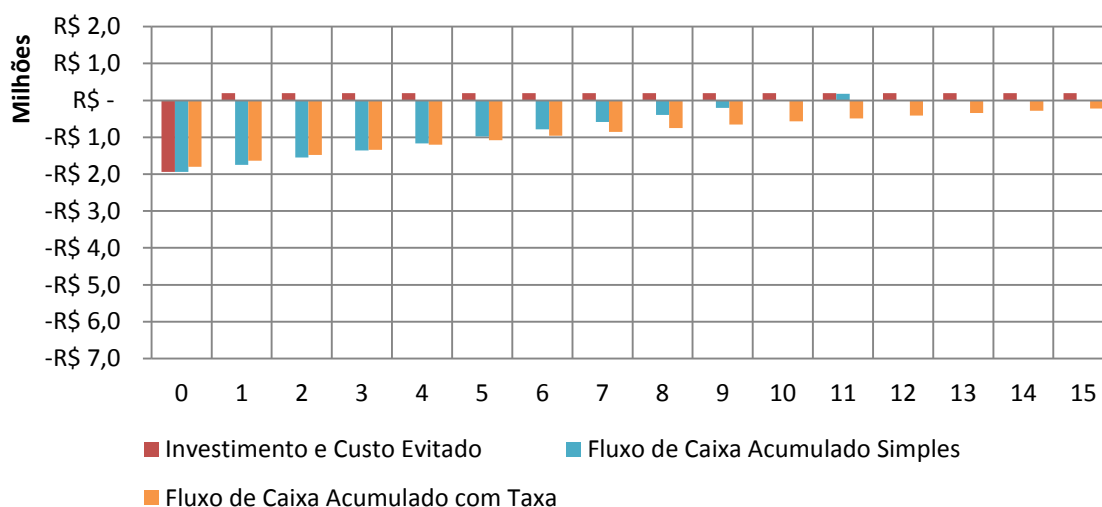


Gráfico 28: Resumo Cenário 2

Tabela 42: Fluxo de Caixas do Cenário 2

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado Simples	Fluxo de Caixa Acumulado com Taxa
0	-R\$ 1.937.771,04	-R\$ 1.937.771,04	-R\$ 1.802.577,71
1	R\$ 192.832,57	-R\$ 1.744.938,47	-R\$ 1.635.713,40
2	R\$ 192.832,57	-R\$ 1.552.105,90	-R\$ 1.480.490,79
3	R\$ 192.832,57	-R\$ 1.359.273,33	-R\$ 1.336.097,66
4	R\$ 192.832,57	-R\$ 1.166.440,76	-R\$ 1.201.778,46
5	R\$ 192.832,57	-R\$ 973.608,19	-R\$ 1.076.830,38
6	R\$ 192.832,57	-R\$ 780.775,62	-R\$ 960.599,60
7	R\$ 192.832,57	-R\$ 587.943,05	-R\$ 852.477,95
8	R\$ 192.832,57	-R\$ 395.110,48	-R\$ 751.899,67
9	R\$ 192.832,57	-R\$ 202.277,91	-R\$ 658.338,48
10	R\$ 192.832,57	-R\$ 9.445,34	-R\$ 571.304,81
11	R\$ 192.832,57	R\$ 183.387,23	-R\$ 490.343,26
12	R\$ 192.832,57		-R\$ 415.030,19
13	R\$ 192.832,57		-R\$ 344.971,52
14	R\$ 192.832,57		-R\$ 279.800,66
15	R\$ 192.832,57		-R\$ 219.176,61

Uma importante consideração é feita na simulação deste cenário, pois na situação inicial, o combustível fóssil é de responsabilidade do usuário, já na situação futura, incentivado o meio de transporte elétrico, foi assumido o custo de recarga pela corporação. Adiante ao ser incorporado o fator ambiental este item será valorado.

2.3 Simulação do Cenário 3

No Cenário 3 simula-se a implantação do total potencial solar fotovoltaico com priorização para a substituição total da energia elétrica dos meios de transporte elétrico, conforme Cenário 2, e o excedente da produção solar fotovoltaica será utilizada para substituição da energia da rede da concessionária, conforme Cenário 1. O investimento é apresentado na Tabela 43, e por se tratar do investimento do total potencial solar fotovoltaico é igual ao do Cenário 1.

Tabela 43: Resumo do Investimento Cenário 3

Item	Valor	Unidade
Painéis	6.508.680,00	R\$
Inversores	1.748.673,12	R\$
Subtotal (75%)	8.257.353,12	R\$
25% (estimado)	2.752.451,04	R\$
Total do investimento	11.009.804,16	R\$

Para as estimativas de custos evitados, o insumo em questão é a energia elétrica, seja para o abastecimento dos veículos quanto da substituição da energia da rede. Desta forma o custo anual evitado apresentado na Tabela 44 é igual ao do Cenário 1.

Tabela 44: Resumo do Custo evitado Cenário 3

Item	Valor	Unidade
Consumo anual	14.507.313,67	KWh
Energia elétrica de fonte solar FV	2.247.301,00	KWh
Tarifa	0,55	R\$/kWh
Custo evitado anualmente	1.236.015,55	R\$

De forma logica, os resultados apresentados na Tabela 45 são iguais ao do Cenário 1, logo se necessário consultar o fluxo de caixa pode se recorrer a Tabela 37 ou ao Gráfico 27.

Tabela 45: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica do Cenário 3

	PB simples	VPL (@7,5%, 15 anos)	TIR
Cenário 1	8,9	-R\$ 92.415,71	7,4%

2.4 Análise dos Cenários

Chega-se neste ponto com a Tabela 46 para a decisão executiva de qual cenário do projeto será viabilizado. A partir desta tabela resume a verifica-se que os três cenários não apresentaram bons indicadores de viabilidade econômica.

Tabela 46: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica dos Cenários

	PB simples	VPL (@7,5%, 15 anos)	TIR
Cenário 1	8,9	-R\$ 92.415,71	7,4%
Cenário 2	10,0	-R\$ 219.176,61	5,5%
Cenário 3	8,9	-R\$ 92.415,71	7,4%

Embora o payback simples apresente resultado próximo à margem de prazo adotada de 15 anos, e nota-se o aumento de 12,4% no prazo quando feito o sob-dimensionamento do inversor. Disto infere-se que existem poucas margens e qualquer excesso sacrifica o resultado.

Quando analisado sob a ótica dos juros, o resultado negativo do VPL aponta para um não retorno, mas este não retorno é muito pequeno, se considerado o investimento da ordem de R\$ 11,0 Milhões para um resultado negativo de apenas de R\$ 92,4 mil (uma representatividade de 0,8%) quase um empate técnico. Isto pode ser visto na TIR, apenas 0,1 pontos percentuais abaixo, tanto no Cenário 1 quanto o Cenário 3, e mais uma vez o sob-dimensionamento do inversor tem impacto negativo no Cenário 2 quando analisado tanto do VPL quanto a TIR.

Estes resultados não podem ser encarados de forma negativa. A viabilidade técnica existe, só há necessidade de revisão de aspectos econômicos e fluxo de caixa. É neste ponto que o viés ambiental pode entrar e mostrar a diferença.

Para quantificar de forma absoluta o impacto ambiental de cada cenário proposto utiliza-se o carbono equivalente (CO₂ eq.) apresentado na Tabela 29, e posteriormente o mesmo será monetizado, ponderando os mercados de carbono, hoje existentes.

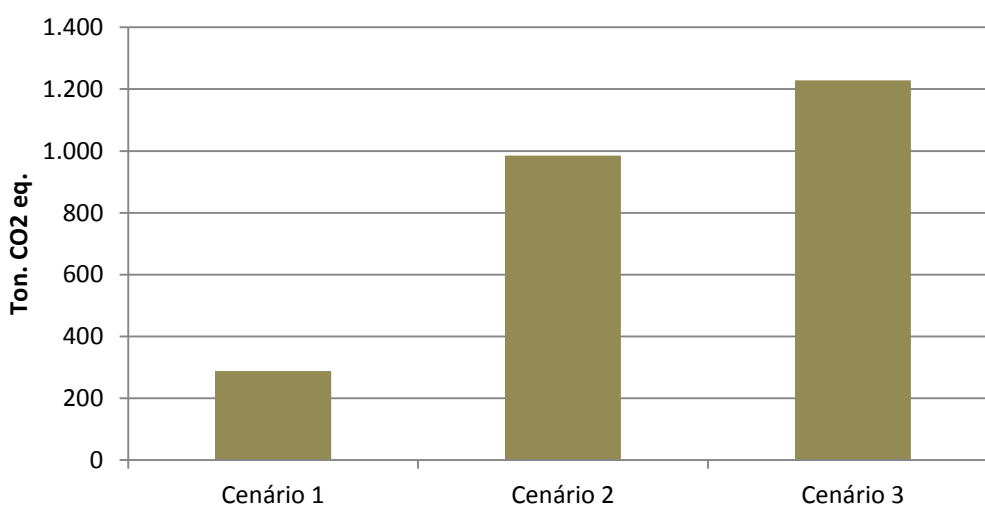
Para a quantificação do CO₂ equivalente dos meios de transporte elétricos e as substituições da energia da rede da concessionária pela a energia proveniente dos painéis solares, deve-se levar em conta o CO₂ equivalente da Matriz Elétrica Brasileira, que embora com grande potencial renovável, tem em sua composição Usinas Térmicas. Segundo dados do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, a emissão do Sistema Interligado Nacional foi de 0,128 kgCO₂eq./kWh (BRASIL, MCTI, 2014).

As comparações entre os volumes de CO₂ eq. evitados em cada um dos cenários é apresentado abaixo, na Tabela 47, sendo que as diferenças entre os cenários foram explicadas na Tabela 32.

Tabela 47: CO2 eq. produzido em cada Cenário

	kWh/ano Elétricos da Concessionária	Ton. CO2 eq (Fonte Elétrica)	Ton. CO2 eq. (Fonte Transporte)	Ton. CO2 eq. Total
Cenário 1	2.247.301,00	287,65	0	287,65
Cenário 2	350.604,67	44,88	940,23	985,11
Cenário 3	2.247.301,00	287,65	940,23	1.227,89

Ratificado através destes números o quão nocivo ao meio ambiente são os meios de transporte a combustíveis fósseis e quão benéfico será sua transição para veículos elétricos, pois é expressiva a quantidade de CO2 equivalente que deixa de ser liberado na atmosfera. E ainda, se a substituição fosse feita diretamente para a energia elétrica da concessionária (Matriz Elétrica Brasileira) já haveria significativo ganho, mas este ganho é potencializado com a utilização de energia elétrica de fonte fotovoltaica. O Gráfico 29 ilustra estes volumes.

**Gráfico 29: Tonelada de CO2 eq. evitado por Cenário**

Para tangibilizar de maneira econômica estas quantidades de CO2 eq. busca-se suporte através do Mercado de Crédito de Carbono, uma iniciativa que surgiu a partir do Protocolo de Quioto, acordo internacional que estabeleceu que os países desenvolvidos devessem reduzir, entre 2008 e 2012, suas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) 5,2% em média, em relação aos níveis medidos em 1990. O Protocolo de Quioto criou o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que

prevê a redução certificada das emissões. Uma vez conquistada essa certificação, quem promove a redução da emissão de gases poluentes tem direito a créditos de carbono e pode comercializá-los com os países que têm metas a cumprir.

A redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é medida em toneladas de dióxido de carbono equivalente (Ton. CO₂ eq.). Cada tonelada de CO₂ eq. reduzida ou removida da atmosfera corresponde a uma unidade emitida pelo Conselho Executivo do MDL, denominada de Redução Certificada de Emissão (RCE). Cada tonelada de CO₂ eq. equivale a 1 crédito de carbono. A ideia do MDL é que cada tonelada de CO₂ eq. não emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento possa ser negociada no mercado mundial por meio de Certificados de Emissões Reduzidas (CER).

Se esta unidade pode ser comercializada é por que tem valor agregado. E se pode ser negociado, há um mercado aonde interesses se convergem. De acordo com dados do Observatório do Clima existem 17 Mercado de Carbono no mundo.

Estes mercados estão listados na Tabela 48, apresentados de acordo com seu volume em toneladas de CO₂ eq. negociáveis.

Tabela 48: Mercados de CO₂ eq. no Mundo (OBSERVATORIO DO CLIMA, 2016)

Mercado	Preço Ton. CO₂ eq. (US\$)	Emissões Negociáveis (Milhões Ton. CO₂ eq.)	Data de Referencia
União Europeia	8	2.000,0	abr/15
Coreia do Sul	9	573,0	abr/15
Costa Nordeste EUA	6	454,5	abr/15
Guangdong	5	408,0	abr/15
Califórnia	13	394,5	abr/15
Hubei	4	324,0	abr/15
Xangai	5	297,7	abr/15
Tianjin	4	160,0	abr/15
Cazaquistão	8	153,0	abr/15
Chongqing	4	125,0	abr/15
Québec	10	65,3	abr/15
Pequim	8	50,0	abr/15
Nova Zelândia	5	38,6	abr/15
Shenzhen	7	32,0	abr/15
Saitama	-	11,4	
Tóquio	38	10,8	abr/15
Suíça	9	5,5	abr/15
Total	7,5	5.103,3	

O preço médio é o resultado da ponderação entre o volume de emissões negociáveis e o preço do mercado. Desta maneira o preço resultado de US\$ 7,5 fica próximo ao preço da União Europeia que representa 40% do mercado.

Especialistas dizem que este preço é muito baixo, e que não incentiva a preocupação e mobilização de empresas e governos com o problema. Um preço de equilíbrio seria algo em torno de US\$ 30,0 por tonelada no mercado atual, e que só um acordo global do clima com metas relevantes que obriguem a maior parte dos países a viabilizar ações de mitigação da poluição para elevar o preço a um patamar de US\$ 200,0 por tonelada para fazer a diferença nos investimentos. (OBSERVATORIO DO CLIMA, 2016)

Haja vista o impacto em nossos cenários ao combinar o preço médio da tonelada de CO₂ eq. com o volume evitado em cada cenário (Tabela 47) chega-se ao resultado financeiro apresentado na Tabela 49, que apresenta duas simulações, a primeira com a tonelada a US\$ 7,5 (preço apurado no Mercado de Carbono Mundial em Abril/2015) e a segunda a US\$ 30,0 (preço de consenso entre especialistas).

Tabela 49: Resultado Financeiro do CO₂ eq. evitado

	Ton. CO₂ eq. Total	Resultado Financeiro (R\$) 7,5 US\$/Ton	Resultado Financeiro (R\$) 30,0 US\$/Ton
Cenário 1	287,65	7.982,41	31.929,65
Cenário 2	985,11	27.336,79	109.347,15
Cenário 3	1.227,89	34.073,85	136.295,42

Deste modo, ao monetizarmos os Créditos de Carbono obtidos com este projeto, sendo estes pleiteados ao Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, conforme Protocolo de Kyoto, a expectativa é de que a Redução Certificada de Emissões (RCE) seja comprovada por auditoria e seja concedida anualmente por igual período ao estudado de 15 anos.

Ao incorporar a receita da venda do CO₂ eq. ao fluxo de caixa de cada um dos cenários, novos resultados são obtidos. A Tabela 50 apresenta dados da simulação de fluxo de caixa com o crédito ao preço de mercado de US\$ 7,5 por tonelada, e para o preço da tonelada a US\$ 30,0.

Tabela 50: Dados da simulação de fluxo de caixa considerando crédito de carbono

	Investimento Inicial	Credito de Carbono/anual	Custo evitado com energia/anual
Cenário 1	R\$ 11.009.804,16	R\$ 7.982,41	R\$ 1.236.015,55
Cenário 2	R\$ 1.937.771,04	R\$ 27.336,79	R\$ 192.832,57
Cenário 3	R\$ 11.009.804,16	R\$ 34.073,85	R\$ 1.236.015,55
Cenário 1a	R\$ 11.009.804,16	R\$ 31.929,65	R\$ 1.236.015,55
Cenário 2a	R\$ 1.937.771,04	R\$ 109.347,15	R\$ 192.832,57
Cenário 3a	R\$ 11.009.804,16	R\$ 136.295,42	R\$ 1.236.015,55

De posse destes novos valores de fluxo de caixa retornam-se as análises de viabilidade economia, atualizando os resultados anteriormente apresentados na Tabela 46 e agora são apresentados na Tabela 51.

Tabela 51: Resumo da Análise de Viabilidade Econômica e Ambiental dos Cenários

	PB simples	VPL (@7,5%, 15 anos)	TIR	Ton. CO2 eq. evitado
Cenário 1 t.CO2 US\$ 0,0	8,9	-R\$ 92.415,7	7,4%	0,0
Cenário 2 t.CO2 US\$ 0,0	10,0	-R\$ 219.176,6	5,5%	0,0
Cenário 3 t.CO2 US\$ 0,0	8,9	-R\$ 92.415,7	7,4%	0,0
Cenário 1 t.CO2 US\$ 7,5	8,85	-R\$ 26.869,9	7,5%	287,65
Cenário 2 t.CO2 US\$ 7,5	8,80	R\$ 5.293,3	7,5%	985,11
Cenário 3 t.CO2 US\$ 7,5	8,67	R\$ 187.374,0	7,8%	1.227,89
Cenário 1 t.CO2 US\$ 30	8,68	R\$ 169.767,4	7,8%	287,65
Cenário 2 t.CO2 US\$ 30	6,41	R\$ 126.897,7	13,1%	985,11
Cenário 3 t.CO2 US\$ 30	8,02	R\$ 1.026.743,3	9,1%	1.227,89

Na sequência para melhor visualização são apresentados no Gráfico 30 o Payback simples e no Gráfico 31 a TIR para os diferentes cenários e preços de tonelada de carbono equivalente (t.CO2) simulados. A informação do VPL só foi apresentada na Tabela 51, pois é proporcional ao investimento e poderia passar uma visão distorcida em gráfico.

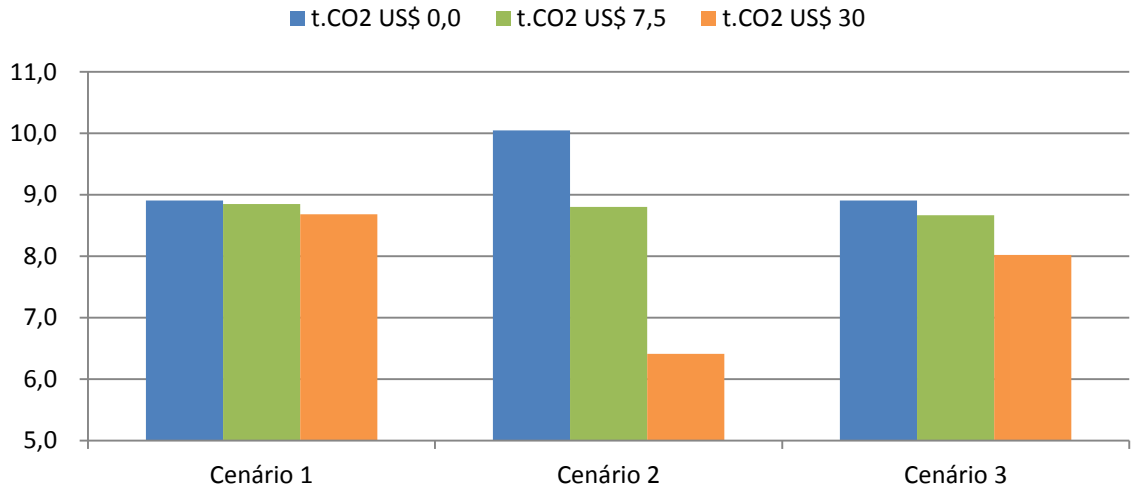


Gráfico 30: Comparação de Payback entre os cenários e preços de t.CO2 simulados

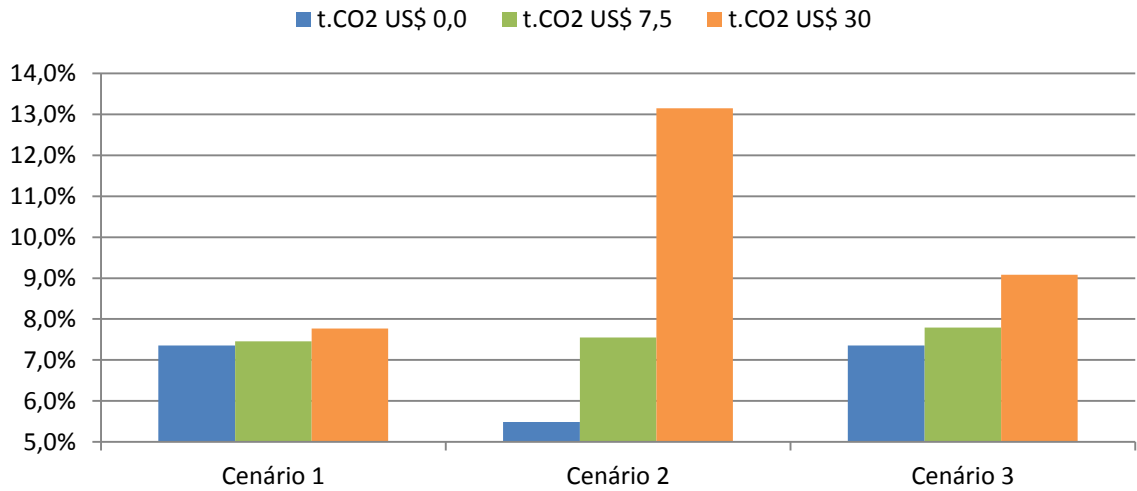


Gráfico 31: Comparação de TIR entre os cenários e preços de t.CO2 simulados

3. CONCLUSÕES

Antes da efetiva apresentação dos números contextualiza-se que a conversão de energia solar em energia elétrica atinge a melhor eficiência com o menor custo já praticado na história mundial. No Brasil, vindo recentemente de caos no setor elétrico, que obrigou os especialistas a entenderem o quão frágil é nossa dependência de recursos hídricos, e quão importante é o planejamento de crescimento de geração e carga em uma matriz equilibrada entre suas fontes e com vocação renovável. Logo, discussões guiaram o País para aprimoramento de suas regulamentações e abriram portas para a geração distribuída, que em par e passo com o mundo, crescem em grande ritmo, suportada pela revolução tecnológica da energia solar. Em paralelo os veículos elétricos ganham mercado, pois sua tecnologia passa por grande incremento, atingindo níveis de eficiências e preços de mercado, tornando-se competição para modelos de linha movidos a motores de combustão. Momento impar em que a sociedade direciona o olhar para o meio ambiente e suas transformações nos impactando em nossas rotinas, encontra na mobilidade urbana um grande problema e foco de poluição do meio. Inserido neste cenário um empreendimento comercial de grande porte do setor privado.

Diante deste contexto, a primeira conclusão é que é pertinente o estudo destas componentes isoladas: energia solar fotovoltaica e meio de transporte elétrico, trabalharem conjuntamente com o objetivo de impulsionar o retorno financeiro do investimento em painéis solares, para reduzir a emissão de gases poluentes no meio ambiente e melhorar a mobilidade urbana.

Três cenários foram introduzidos no capítulo 3, bem como os seus resultados apresentados e cada caso discutido.

O primeiro ponto que chama a atenção é a diferença do preço do painel solar fotovoltaico no Brasil, que se pode concluir está descolado do preço mundial. Enquanto evidencia-se no mundo o custo de US\$ 0,30/W de célula fotovoltaica, no Brasil, com razão real:dólar estimada em 3,7:1, cota-se a célula fotovoltaica em US\$ 1,07/W, ou seja, custos 256% superiores que nos causam uma desvantagem competitiva.

Ao término da primeira iteração de cenários, esta desvantagem fica evidente aos três cenários que obtiveram resultados de VPL negativos para o período e taxa simulado. Pode-se abrir argumentação para o cenário 1 e cenário 3 que obtiveram

resultados de VPL muito próximos à zero (em comparação ao investimento de R\$ 11,0 Milhões o resultado foi negativo em R\$ 92,4 mil), ou seja, um empate entre o custo evitado com o investimento no projeto e o lucro com os juros de uma aplicação, comprovado este fato pela análise da TIR do fluxo de caixa que foi de 7,4%, em comparação a taxa de 7,5% utilizada no VPL. Uma ação de mitigação dos indicadores de viabilidade econômica seria um estudo de taxas e oportunidades de financiamento que diluíssem o investimento inicial no tempo e consequentemente, melhorariam o resultado final. Este tipo de incentivo foi discorrido, e deveria ter origem governamental para desenvolvimento da infraestrutura do país. Como não é objetivo deste trabalho estudos de engenharia econômica nem listagem de linhas de financiamento define-se o investimento no momento inicial, mas cita-se a oportunidade para posteriores estudos.

Outro ponto importante e concluído durante a primeira iteração é que nos estudos de viabilidade econômica de energia solar fotovoltaica o correto dimensionamento dos equipamentos é grande influenciador do resultado. Nota-se a relação direta entre quão maior a superfície coletora de painéis e a energia gerada, logo o custo evitado com a energia gerada que antes era comprada. No cenário 2, a superfície coletora é menor, equivalente a 15,6% da área dos cenários 1 e 3, mas para efeitos de padronização e cotação de equipamentos o inversor ficou sobdimensionado, com uma ociosidade de potência de aproximadamente 30%, logo os indicadores de viabilidade econômica foram piores. O payback simples aumentou em 12,8%, a TIR foi 25,4% menor e o prejuízo acumulado ao final do período foi 2,4 vezes maior se em comparação com os cenários 1 e 3, concluindo desta maneira a piora dos resultados quando mal dimensionado um projeto.

Ao partir para uma segunda iteração nos mesmos três cenários propostos foi quantificado e valorado o CO₂ equivalente que deixaria de ser emitido em função da energia solar gerada e da não emissão de veículos a combustível fóssil que foram substituídos por veículos elétricos. Neste momento conclui-se que a introdução do viés ambiental a projetos de energia solar fotovoltaica melhora os resultados econômicos.

Na primeira simulação com o preço da tonelada de CO₂ equivalente cotado a US\$ 7,5 houve redução em média de 5,2% do tempo do payback simples, sendo 0,6%, 12,4% e 2,7% respectivamente para o cenário 1, cenário 2 e cenário 3. O VPL apresentou resultados positivos para os cenários aonde foi incorporado a

substituição dos veículos, ou seja, os cenários 2 e 3, e a TIR apresentou aumento médio de 15%, sendo respectivamente 1,4%, 37,7% e 6,0% para os cenários 1, 2 e 3.

Na segunda simulação, quando o preço da tonelada de CO₂ equivalente foi estimado a US\$ 30,0 houve redução do payback simples em três vezes em relação a primeira simulação da segunda iteração, sendo em média de 16,2%, respectivamente 2,5%, 36,2% e 9,9%. Nesta simulação todos os VPL's foram positivos, e proporcionalmente ao investimento inicial foram 5,8%, sendo respectivamente 1,5%, 6,5% e 9,3%. E para a TIR o incremento médio foi de 56,3% em relação a primeira iteração, com destaque para o cenário 2 que teve variação de 139,8%.

Em resumo, analisando o Gráfico 30 e Gráfico 31 em conjunto com as variações descritas acima se conclui que a quantificação e valoração do CO₂ equivalente trazem ganhos de viabilidade econômica, e ainda, aonde houve a introdução dos meios de transporte elétricos em substituição a combustível fóssil resultou em uma melhoria dos indicadores de viabilidade econômica. Ou seja há maximização do efeito ambiental é refletida no retorno do capital investido através do valor agregado dos créditos de carbono, pela substituição antes dos combustíveis fóssil, mas agora elétricos em comparação com o pequeno ganho ambiental que existe na substituição da energia elétrica da concessionária pela energia solar fotovoltaica, evidenciado no Gráfico 29.

A amplitude do investimento inicial deverá se balizar pela disponibilidade de recursos do investidor e pelo preço da tonelada de CO₂ equivalente no mercado no momento da decisão, mas aponta-se que melhores resultados serão obtidos quando da substituição de combustíveis com maior índice poluidor por outro mais limpo, como foi o caso estudado.

Assim, conclui-se da análise do uso de energia fotovoltaica em meios de transporte elétricos para os colaboradores de edifício corporativo como uma excelente estratégia para aceleração do retorno financeiro do investimento em painéis solares, bem como uma iniciativa inédita de fomentação do mercado de veículos elétricos e divulgação de promissora tecnologia para os colaboradores e sociedade.

Recomenda-se a continuidade dos estudos deste tripé energia solar fotovoltaica, meios de transporte elétrico e mobilidade urbana, em função da

prioridade destes assuntos a vida, seja isolada a do ser humano ou em conjunto e todo o impacto positivo ao meio ambiente.

Outros empreendimentos corporativos podem ser objeto de estudo, assim como empreendimentos públicos também podem ser explorados. Fica clara a aceleração do retorno do investimento quando associado à troca por meios de transporte elétrico em substituição do combustível fóssil.

Novos estudos podem explorar a migração de preferência pública pelo meio de transporte elétrico, bem como discutir sobre incentivos que introduzam externalidades para acelerar esta migração. Pois no estudo de caso deste trabalho se manteve a população em seu meio de transporte de preferência, sem qualquer migração.

Outro possível desdobramento é através do estudo de políticas públicas de transporte e maior civilidade nas vias, que permita uma introdução em grande quantidade de veículos leves elétricos, pois teriam desdobramentos de grande impacto, principalmente se associados à instalação de painéis solares em espaços públicos para recarga gratuita destes veículos leves. No estudo de caso deste trabalho não foi incentivado à migração de colaboradores para este tipo de meio de transporte por possível risco à saúde do colaborador.

Por fim, caso novas tecnologias de conversão de energia solar em energia elétrica sejam desenvolvidas, ou verifique-se redução do preço, ou ainda variação do preço da tonelada de CO₂ equivalente, pode ser feita a recalibração deste estudo, mas acredita-se que o mesmo resultado positivo será alcançado, ou seja, o retorno do investimento em painéis solares fotovoltaicas para o uso da energia elétrica é acelerado quando associado à substituição de meios de transporte movidos a combustível fóssil por elétricos em comparação a simples introdução de energia elétrica na rede.

REFERÊNCIAS

ALDABO, Ricardo. Energia Solar. 1ª ed. São Paulo – SP: Artliber Editora, 2002.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA (ANEEL) Serviços / Para Agentes / Cadastro de Agentes / Geração distribuída amplia número de conexões em 2015. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>> Acesso em 20 de março de 2016

ANDRADE, G. H. de; KATAMURA, R. M. Avaliação dos impactos do aumento da penetração da geração fotovoltaica e de veículos elétricos na rede de distribuição. 2014. 134 p. Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEICULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA) Estatísticas <<http://www.anfavea.com.br/tabelasnovos.html>>. Disponível em 12 de maio de 2016.

BACEN, Banco Central. Calculadora do Cidadão. Disponível em <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>>. Acessado em 13 de junho de 2016.

BARAN, R. A Introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. 2012. Tese (Doutorado). PPE/Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. Price per Watt. Disponível em <https://en.wikipedia.org/wiki/Price_per_watt>. Acesso em 18 de maio de 2016.

BORBA, B. S. M. C. Modelagem Integrada da Introdução de veículos leves conectáveis a rede elétrica no sistema energético brasileiro. Tese (Doutorado). PPE/Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Resolução Normativa nº 482 de 17/04/2012 Alterado pela Resolução 687 de 24/11/2015.

BRASIL, Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR ISO 14001:2004, 2ª Edição. Rio de Janeiro – RJ. 2004.

BRASIL, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – InfoLeilão Nº 018 – 23º Leilão de Energia Nova (A-5) – 29 de abril de 2016

BRASIL, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO – Programa Brasileiro de Etiquetagem, Tabela de Eficiência Energética – Sistema de Energia Fotovoltaica – Módulos. Edição: 01/2016

BRASIL, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. 2ª Edição. 2014.

BRASIL, Ministério de Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, Resolução CONAMA Nº 306/2002 - Data da legislação: 05/07/2002 - Publicação DOU nº 138, de 19/07/2002, págs. 75-76 Alterada pela Resolução nº 381, de 2006.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2014.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007.

BRASIL, CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. CAPÍTULO VI - DO MEIO AMBIENTE, Artigo 225.

BRASIL. Secretaria de Energia do Estado de São Paulo. Matriz Energética do Estado de São Paulo – 2035: Modulo de Planos e Políticas Públicas. São Paulo, 2011. 86 p.

BRASIL. Secretaria de Energia do Estado de São Paulo. Matriz Energética do Estado de São Paulo – 2035: Relatório Final. São Paulo, 2011. 121 p.

CENTRO DE REFERENCIA PARA ENERGIA SOLAR E EOLICA SERGIO BRITO – CRESESB e CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA – CEPEL. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em 1 de maio de 2016.

CASAS BAHIA. Casa e Construção - Energia Renovável. Disponível em <<http://www.casasbahia.com.br/MaterialparaConstrucao/energia/energiarenovavel/Painel-Solar-Yingli-Energy-60-Celulas-Policristalino-260W-Centrium-YL260P-29B-6337856.html>>. Acesso em 13 de junho de 2016.

CASTRO, Nivalde J. de. Visão 2030: Cenários, tendências e novos paradigmas do setor elétrico. 1ª ed. Rio de Janeiro – RJ: Babilônia Cultura Editorial, 2015.

CASTRO. Roberto. Notas de aula de Regulação da Geração Distribuída. Disciplina ERG 011. PECE, POLI – USP, 2014.

CHAUD, Carolina Attas. Analise da mobilidade urbana voltada para inclusão de veículos elétricos de carga visando uma logística sustentável. 2014. 229 p. Dissertação (mestrado) - São Paulo Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ÇENGEL, Y. A. BOLES, M. A. Termodinâmica. 5ª ed. McGraw Hill, 2006.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. 3ª ed. New Jersey - USA: Wiley-Interscience, 2006.

ELETRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI). Disponível em <http://et.epri.com/ResearchAreas_IndustryTerms.html>. Acesso em 14 de maio de 2016.

FARIAS, J. C. M. A Energia na cidade do Futuro – Perspectivas da Matriz Elétrica Brasileira I: Participação das Fontes Renováveis e Alternativas. Campinas, 2013.

FOCUS, Boletim. Relatório de Mercado. Disponível em <<http://www.bcb.gov.br/pec/GCI/PORT/readout/R20160610.pdf>>. Acessado em 13 de junho de 2016.

FOLHA DE SÃO PAULO. Cotidiano. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/11/1711467-onibus-eletrico-movido-100-a-bateria-divide-usuarios-em-campinas-sp.shtml>>. Acesso em 19 de fevereiro de 2016.

FORBES TECH. Solar Energy Revolution: A Massive Opportunity. Disponível em <<http://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solar-energy-revolution-a-massive-opportunity/#1d7a10b12066>>. Acesso em 18 de maio de 2016.

FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F. Energia Solar: fundamentos e tecnologia de conversão hipotérmica e fotovoltaica. 1ª ed. Recife – PE: Ed. Universitária da UFPE, 1995.

G1 PORTAL DE NOTÍCIAS. Campinas e Região. Disponível em <<http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2015/05/taxistas-de-campinas-compram-os-primeiros-taxis-eletricos-do-brasil.html>>. Acesso em 19 de fevereiro de 2016.

GEHL, Jan. Cidades para Pessoas. 3ª ed. São Paulo – SP: Perspectiva, 2015.

GOLDEMBERG, Jose. Hidroelétricas Brasileiras. In: Previsões sobre o Sistema Elétrico Brasileiro, 2014 AMCHAM – Câmara de Comercio Americana. Apresentação em Power Point.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. dos. Energia e Meio Ambiente. 5ª ed. São Paulo – SP: Cengage Learning, 2014.

IMPOSTOMETRO. 05/mar: Carga Tributária Brasileira. Disponível em <<http://www.impostometro.com.br/posts/carga-tributaria-brasileira>>. Acesso em 13 de junho de 2016

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DAS ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMERICA LATINA (IDEAL). Simulado Solar. Disponível em <<http://www.americadosol.org/simulador/>>. Acesso em 1 de maio de 2016.

INTERSOLAR 2015. INTERSOLAR SOUTH AMERICA – Feira e Conferencia Internacional na América do Sul para o Setor de Energia Solar. Stand de Exposição da Empresa GPTech. Visitada em 03 de setembro de 2015. Disponível em <<http://www.greenpower.es/en/communication/new-detail/GPTech-will-be-main-sponsor-of-the-biggest-renewable-energys-event-in-South-America./>>

INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em 6 de maio de 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA): Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles. Paris: IEA, 2011.

_____. Energy Technology Perspectives 2012 – Pathways to a Clean Energy System. Paris: IEA, 2012 a.

_____. World Energy Outlook 2012. Paris: IEA, 2012b.

JONG, P. et al. Solar and Wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 23 p. 526-535, 2013.

LABOURET, A.; VILLOZ, M. Solar Photovoltaic Energy. 4th ed. London – UK: The Institution of Engineering and Technology, 2010.

LARMINIE, J. LOWRJE, J. Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley and Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

MATAI, H. L. dos Santos. SANTOS, M. M. Notas de aula de Aspectos Ambientais e instalação de projetos de energia. Disciplina ERG 002. PECE, POLI – USP, 2015.

MINHA CASA SOLAR. Painel Solares de 205W a 280W. Disponível em <<http://www.minhacasasolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico>>. Acesso em 13 de junho de 2016.

OBSERVATORIO DO CLIMA. O preço do CO₂. Disponível em <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/como-sera-o-mercado-de-carbono-do-brasil/>>. Acesso em 6 de maio de 2016.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS) Histórico da Operação, Energia Natural Afluente e Energia Armazenada. Disponível em <http://www.ons.org.br/historico/energia_natural_aficiente.aspx>. Acesso histórico ao longo de 7 anos.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU): Human Development Report 2015. New York, 2015

PARENTE, V. Notas de aula de Análise de Viabilidade Econômica de Projetos de Energia. Disciplina ERG 001. PECE, POLI – USP, 2014.

POUPARMELHOR. Análise económica à Powerwall em Portugal, escrito por A. Sousa em 7 de maio de 2015. Disponível em <<http://www.pouparmelhor.com/duvidas/analise-economica-a-powerwall-em-portugal/>>. Acesso em 14 de maio de 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Agencia de Notícias. Disponível em <<http://www.curitiba.pr.gov.br/tv/projeto-curitiba-eco-eletrico/2916>>. Acesso em 19 de fevereiro de 2016

REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. F. A; CARVALHO, C. E. Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável. 2ª ed. Barueri – SP: Manole, 2012.

REN21 - Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: Global Status Report 2015. Paris, França, 2015.

SÃO PAULO TRANSPORTES S.A. (SPTRANS). Disponível em <<http://www.sptrans.com.br/indicadores/>>. Acessado em 14 de maio de 2016.

SMITH, C. B. Análise da difusão de novas tecnologias automotivas em prol da eficiência energética na frota de novos veículos leves no Brasil. Tese (Doutorado). PPE/Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

SOWMY, D. S. Notas de aula de Solar II. Disciplina ERG 007. PECE, POLI – USP, 2015

TATTO, Jilmar Augustinho. Mobilidade urbana em São Paulo: aplicação de soluções imediatas e eficazes. 2015. 163 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

TIBA, Chigueru. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. 1ª Ed. Recife – PE. Ed. Universitária da UFPE, 2000.

UOL. Pensador. Disponível em: <<http://pensador.uol.com.br/energia/>>. Acesso em 15 de março de 2016

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0: WRI's Climate Data Explorer. 2014. Disponível em: <<http://cait.wri.org>>. Acesso em: 5 de maio de 2016.