



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



SÉRGIO CABEÇA BRAZ

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE
COBERTURAS TERMOACÚSTICAS COM PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS
EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO EM UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

Belém
2018

SÉRGIO CABEÇA BRAZ

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE
COBERTURAS TERMOACÚSTICAS COM PAINÉIS FOTOVOLTAÍCOS
EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO EM UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

PROJETO DE DISSERTAÇÃO APRESENTADO AO
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL, DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, À
QUALIFICAÇÃO PARA O MESTRADO
ACADÊMICO EM ENGENHARIA CIVIL.

ORIENTADOR: Prof. Dr. ALCEBÍADES NEGRÃO MACEDO

Belém

2018

SÉRGIO CABEÇA BRAZ

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE
COBERTURAS TERMOACÚSTICAS COM PAINÉIS FOTOVOLTAÍCOS
EM EDIFICAÇÕES: ESTUDO DE CASO EM UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

PROJETO DE DISSERTAÇÃO APRESENTADO AO
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL, DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, À
QUALIFICAÇÃO PARA O MESTRADO
ACADÊMICO EM ENGENHARIA CIVIL

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ALCEBÍADES NEGRÃO MACEDO
Orientador

Prof. Dr. ANDRÉ AUGUSTO AZEVEDO MONTENEGRO DUARTE
Membro Interno PPGITEC

Prof. Dr. RENATO MARTINS DAS NEVES
Membro Externo

Prof. Dr. EDSON ORTIZ DE MATOS
Membro Externo

Prof. Dr. ANDRÉ CRISTIANO SILVA MELO
Membro Externo

AGRADECIMENTOS

No decorrer desta caminhada, muitas pessoas contribuíram e foram fundamentais para que eu chegasse a este momento, e eu gostaria de poder citar a todos que estiveram ao meu lado, seja estudando e pesquisando durante o mestrado, seja com a dedicação de ensinar sempre com compreensão e com motivação, seja com uma palavra amiga e de incentivo, com orações e energia positiva, torcendo para o meu sucesso. É com muita gratidão e emoção que agradeço a todos vocês,

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho e me conduziu durante esta caminhada,

Aos meus pais (in memoriam) com todo amor, meu infinito agradecimento por tudo que fizeram e ainda fazem por mim,

Aos meus tios e tias minha gratidão e carinho pelo apoio,

A minha família em especial aos meus netos que são minha alegria, esperança e motivação para a constante busca do conhecimento,

Aos membros da banca, pela dedicação na leitura e pelas valiosas sugestões;

Aos amigos e colegas da UFPA, em especial da PREFEITURA, PPGEC do ITEC e CEAMAZON, pelo incentivo e pelo apoio constante.

**“Deus nos colocou no mundo para os outros”
Dom Bosco**

RESUMO

Braz Cabeça, Sérgio. **Estudo da Viabilidade Econômica da Implantação de Coberturas Termoacústicas com Painéis Fotovoltaicos em Edificações: Estudo de Caso em uma Instituição de Ensino Superior**. Belém. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Mestrado em Engenharia Civil), UFPA, 2018.

Com a evolução da humanidade e o aparecimento de novas tecnologias na construção civil aliado a necessidade de conforto ambiental, redução dos impactos ambientais e do consumo de energia elétrica, torna-se indispensável o uso de novos materiais e fontes de energias renováveis nas edificações para redução dos custos. Neste cenário foram estudadas as coberturas das edificações de uma instituição de ensino superior no estado do Pará, visando o conforto ambiental e redução de custos no consumo de energia elétrica. Assim realizou-se pesquisa exploratória, onde foram consideradas a área da edificação, tipo de cobertura, o consumo de energia elétrica e cálculos através do fluxo de caixa projetado com horizonte temporal de 25 anos, compatível com a vida útil do sistema. Obteve-se assim fluxo de caixa descontado, o *payback* e o valor presente líquido. Os resultados revelaram que o uso da telha termoacústica nas coberturas com a implantação do sistema de energia solar fotovoltaica, como alternativa para redução de custos, é viável para as edificações estudadas com economicidade em torno de 13%, tempo de retorno 12/13 anos (50% da vida útil do sistema) e VPL de, em média, 44% do investimento inicial. Para as passarelas cobertas da Instituição que em sua totalidade têm aproximadamente 5km, não se mostrou viável a implantação do sistema fotovoltaico.

Palavras-Chave: Viabilidade Econômica. Telhas Termoacústicas. Instituição de Ensino Superior. Sustentabilidade. Painéis Fotovoltaicos.

ABSTRACT

Braz Cabeça, Sérgio. Study of the Economic Viability of the Implantation of Thermoacoustic Roofing with Photovoltaic Panels in Buildings: Case Study in a Higher Education Institution. Belém. Graduate Program in Civil Engineering (Master in Civil Engineering), UFPA, 2018.

With the evolution of humanity and the appearance of new technologies in civil construction combined with the need for environmental comfort, reduction of environmental impacts and consumption of electricity, it becomes indispensable to use new materials and sources of renewable energy in buildings for reduction costs and environmental impacts. In this scenario, the coverage of the buildings of a higher education institution in the state of Pará was studied aiming at the environmental comfort and reduction of costs in the consumption of electric energy. Exploratory research was carried out, considering the area of the building, type of coverage, the consumption of electric energy and calculations through the projected cash flow with a time horizon of 25 years compatible with the useful life of the system. We thus obtained discounted cash flow, payback and net present value. The results showed that the use of the thermoacoustic tile in the roofs with the implantation of the photovoltaic solar energy system as an alternative for cost reduction is feasible for the studied buildings with a saving of around 13%, time of return 12/13 years (50% of the system's useful life) and NPV of, on average, 44% of the initial investment. For the covered walkways of the Institution that in its totality is approximately 5km, the implantation of the photovoltaic system was not viable.

Key words: Economic Viability. Thermoacoustic tiles. Institution of Higher Education. Sustainability. Photovoltaic panels.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Estrutura do trabalho</i>	16
<i>Figura 2- Período Paleolítico (7.000.000-18000 - a.C.) – Moradia em Cavernas.</i>	17
<i>Figura 3- Período Paleolítico (7.000.000-18000 - a.C.) – Moradia em Cavernas.</i>	17
<i>Figura 4- Tipos de Coberturas Percíveis -</i>	18
<i>Figura 5- Período Neolítico (10.000 a.C à 5.000 a.C) - Cobertura em sapê- Casa Neolítico da exposição em Stonehenge, Salisbúria, Wiltshire, Inglaterra.</i>	18
<i>Figura 6- Coberturas em sapê- Período Neolítico</i>	18
<i>Figura 7- Cobertura cerâmica, telha.</i>	19
<i>Figura 8- Cobertura utilizando Ardósia.</i>	19
<i>Figura 9- Cúpula de Rochedo Jerusalém (Israel)- Cobertura com ouro.</i>	20
<i>Figura 10- Catedral de Florença-Itália (Cobertura em tijolos, cerâmicas recolocadas em escama).</i>	21
<i>Figura 11- Telhado Hospital medieval Hôtel-Dieu, cidade de Beaune-França-(Construção 1337 a 1453).</i>	21
<i>Figura 12- Universidade de Oxford na Inglaterra (obra de 1474) com o uso do cobre em sua cobertura.</i>	22
<i>Figura 13- Biblioteca de Sainte-Geneviève em Paris.</i>	23
<i>Figura 14- Igreja San Gioacchino em Roma.</i>	23
<i>Figura 15- Aeroporto de Internacional de Kansai, em Osaka no Japão. Ao lado, cobertura em concreto da Igreja São Francisco de Assis, em Belo Horizonte.</i>	24
<i>Figura 16- Coberturas com telhas de cerâmica, muito utilizadas em residências.....</i>	24
<i>Figura 17- Telha sanduíche de aço galvanizado com revestimento em Poliuretano</i>	33
<i>Figura 18- Telha sanduíche de aço galvanizado com revestimento em EPS</i>	33
<i>Figura 19- Ciclo heliotérmico simplificado, sem armazenamento.</i>	37

<i>Figura 20- Ciclo Sistema Fotovoltaico.</i>	37
<i>Figura 21- Configuração de um sistema eólico isolado.</i>	38
<i>Figura 22- Configuração de um sistema eólico de injeção na rede.</i>	39
<i>Figura 23- Eletricidade produzida a partir de matéria orgânica.</i>	40
<i>Figura 24-Central geotérmica.....</i>	40
<i>Figura 25- Funcionamento de uma usina hidrelétrica.</i>	41
<i>Figura 26- Usina nuclear.</i>	41
<i>Figura 27- Funcionamento de uma usina termoelétrica.</i>	42
<i>Figura 28- Geração de Energia Elétrica Mundial por fonte no ano de 2012.</i>	42
<i>Figura 29- Matriz elétrica Brasileira, incluindo importação.</i>	43
<i>Figura 30- Variação do crescimento entre os anos de 2014 e 2015.</i>	44
<i>Figura 31- Evolução da geração eólica de 2007 a 2015.</i>	44
<i>Figura 32- Fluxo de energia elétrica (incl. importação e autoprodução).</i>	45
<i>Figura 33- Participação regional na geração de energia elétrica, excluindo importação</i>	46
<i>Figura 34- Brasil: subsistemas elétricos</i>	46
<i>Figura 35- Intercâmbio de Energia elétrica entre as regiões do SIN em 2015 (MW médio).....</i>	47
<i>Figura 36- Brasil: regiões geográficas, totais 2015.....</i>	50
<i>Figura 37- Mapa de Radiação solar no plano inclinado média anual</i>	52
<i>Figura 38- Capacidade fotovoltaica mundial no ano de 2012</i>	53
<i>Figura 39- Tipos mais comuns de módulos fotovoltaicos</i>	54
<i>Figura 40- Eficiência de células e módulos FV produzidos em laboratório</i>	55
<i>Figura 41 - Representação do fluxo de energia em um sistema fotovoltaico On-Grid</i>	60
<i>Figura 42- Inversores conectados à rede (Inversor Grid-Tied).....</i>	61

<i>Figura 43 - Representação Triple Bottom Line</i>	<i>69</i>
<i>Figura 44 - Vista aérea Cidade Universitária</i>	<i>76</i>
<i>Figura 45 - Dados climáticos, latitude e longitude</i>	<i>77</i>
<i>Figura 46 - Dados climáticos: média mensal da cidade em que a Instituição de Ensino Superior está localizada</i>	<i>77</i>
<i>Figura 47 - Irradiação solar diária média.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 48 - Gráfico de Demanda Diária Horário Fora da Ponta (em azul) e Na Ponta (em vermelho).</i>	<i>78</i>
<i>Figura 49- Prédio da Reitoria da UFPA, Campus Básico</i>	<i>79</i>
<i>Figura 50 - Vista Aérea Prédio da Reitoria</i>	<i>79</i>
<i>Figura 51- Reitoria: planta baixa da cobertura</i>	<i>80</i>
<i>Figura 52 - Prédio da Reitoria: Corte longitudinal</i>	<i>81</i>
<i>Figura 53 - Vista Frontal do Anexo da Reitoria da UFPA, campus básico</i>	<i>81</i>
<i>Figura 54 - Vista aérea Anexo da Reitoria</i>	<i>82</i>
<i>Figura 55 - Anexo da Reitoria: planta baixa da cobertura</i>	<i>83</i>
<i>Figura 56 - Anexo da Reitoria: corte longitudinal da cobertura</i>	<i>83</i>
<i>Figura 57 - Vista aérea Hospital Bettina Ferro De Souza</i>	<i>84</i>
<i>Figura 58 - Vista frontal do Hospital Universitário Bettina Ferro De Souza</i>	<i>84</i>
<i>Figura 59 - Hospital Bettina Ferro: planta baixa da cobertura</i>	<i>85</i>
<i>Figura 60 - Hospital Bettina Ferro: corte longitudinal da cobertura</i>	<i>85</i>
<i>Figura 61 - Vista aérea Passarelas de Acesso do Campus Profissional da UFPA</i>	<i>86</i>
<i>Figura 62 - Passarelas: planta baixa da cobertura</i>	<i>87</i>
<i>Figura 63 - Passarelas: cortes (A e B) longitudinais da cobertura</i>	<i>87</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1- Vantagens e desvantagens da utilização de estrutura descontínua de madeira serrada para cobertura.</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da utilização de estrutura pontaletada</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 3 - Vantagens e desvantagens da utilização de estrutura metálica para cobertura. ...</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 4- Vantagens e desvantagens da utilização de laje como estrutura de cobertura.</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 5- Definições de termos e elementos componentes do sistema de cobertura</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 6- Agentes de degradação que prejudicam a vida útil do sistema de cobertura</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 7- Geração elétrica por fonte (incl. geração distribuída).</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 8- Participação das fontes na geração Termoelétrica.</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 9- Extensão das linhas de transmissão Sistema Interligado Nacional – SIN, em km ..</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 10- Perdas totais na rede (%).Fontes: ONS; Eletrobrás e Distribuidoras</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 11- Tarifas médias por região (R\$/MWh).</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 12- Consumo por região geográfica, em GWh.</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 13- Consumo por setor/classe, em GWh</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 14- Consumidores por região geográfica (mil)</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 15- Tecnologias FV e áreas correspondentes para um sistema de 1kWp</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 16 - Componentes e custos do Sistema Fotovoltaico Prédio Reitoria.</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 17 - Quadro Fluxo de caixa Projetado Prédio da Reitoria</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 18 - Componentes e custos do Sistema Fotovoltaico Prédio Anexo Reitoria.</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 19 - Quadro Fluxo de caixa Projetado Prédio Anexo da Reitoria</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 20 - Orçamento de Componentes e Custos Instalação do Sistema.</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 21 - Quadro Fluxo de caixa Projetado Hospital Universitário Bettina Ferro</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 22 - Orçamento de Componentes e Custos Instalação do Sistema.</i>	<i>97</i>
<i>Tabela 23 - Quadro Fluxo de caixa Projetado Passarelas de Acesso</i>	<i>98</i>
<i>Tabela 24 - Quadro Geral de Análises de Resultados.</i>	<i>99</i>

Sumário

Resumo

Lista de figuras

Lista de tabelas

1	Introdução.....	14
1.1	Justificativa e importância do Trabalho.....	15
1.2	Objetivos.....	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
1.3	Delimitação da Pesquisa.....	15
1.4	Estrutura do Trabalho.....	16
2	Revisão bibliográfica.....	17
2.1	Coberturas.....	17
2.1.1	Tipos de Cobertura.....	24
2.1.2	Componentes da Cobertura.....	26
2.1.3	Durabilidade e Vida Útil das Coberturas.....	34
2.2	Energia.....	36
2.2.1	Tipos de Fontes Energéticas.....	36
2.2.2	Cenário Energético.....	42
2.2.3	Consumo.....	49
2.2.4	Energia Solar- Aspectos Gerais e Detalhes Operacionais....	51
2.3	Sustentabilidade.....	63
2.3.1	Conceito.....	63
2.3.2	Histórico.....	64
2.3.3	A Sustentabilidade na Construção Civil.....	66
2.3.4	Aspecto Econômico.....	70
2.3.5	Aspecto Social.....	70
2.3.6	Aspecto Ambiental.....	71
2.3.7	Sustentabilidade Socialmente Justa e Equilibrada.....	71
2.4	Viabilidade Econômica	71
2.4.1	<i>Payback</i>	72
2.4.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	72
2.4.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	72
2.4.4	Valor Anual Uniforme(VAU).....	72
2.4.5	Análise de Sensibilidade	73

3	Metodologia e Materiais	74
3.1	Metodologia.....	74
3.2	Estudo de Caso.....	75
3.2.1	Edificações da UFPA para o Estudo de Caso.....	76
4	Resultados e análises	88
4.1	Prédio da Reitoria.....	88
4.2	Prédio do Anexo da Reitoria.....	91
4.3	Hospital Bettina Ferro de Souza.....	93
4.4	Passarelas Cobertas Campus Profissional.....	96
4.5	Síntese dos Resultados e Análises	99
5	Conclusões	100
	Referências bibliográficas.....	101

1. INTRODUÇÃO

Uma edificação institucional voltada para o uso educacional é planejada e construída para atender seus usuários por um longo período. A cobertura, chamada por muitos de telhado, é um elemento essencial e de extrema importância na composição volumétrica das edificações, tendo como função assegurar estanqueidade às águas pluviais, protegendo, assim, os demais sistemas da edificação contra a deterioração por agentes naturais. Desde o início da civilização a cobertura se mostra presente quando o homem utilizava as cavernas, copas de árvores e materiais perecíveis (casca de certas árvores, folhagens e peles de animais), com os quais eram cobertas as cabanas primitivas para suprir a necessidade fundamental de cobertura e abrigo das habitações precárias dos primórdios (TRINDADE, 2014).

Com a evolução da humanidade e ao longo dessas últimas décadas, novos padrões vieram transformando o cenário desses processos construtivos através de novos estudos de materiais e tecnologias na área do conforto ambiental com vistas ao uso eficiente e à conservação de energia, com o objetivo de torná-las economicamente viáveis e sustentáveis. As edificações institucionais de uso educacional possuem um valor social fundamental e de extrema importância, a utilização de meios adequados é determinante para a capacidade funcional da edificação e sua vida útil e sustentável para os fins a que se destinam (CORREA, 2009).

As edificações necessitam passar por constantes manutenções corretivas, as quais, muitas vezes, tornam-se paliativas, gerando mais gastos e não contemplando a necessidade do local. A seleção dessas edificações nas Instituições de Ensino Superior (IES) como locais de substituição das coberturas com a instalação de um sistema de geração de energia limpa, considerou a vida útil das mesmas, os gastos exorbitantes especialmente no consumo de energia elétrica, a dificuldade orçamentária, as exigências dos órgãos de controle para que as Instituições estabeleçam práticas de sustentabilidade e racionalização de gastos.

Com base nessa realidade devem ser estudados os custos e os benefícios da substituição das coberturas tradicionais por coberturas com novas tecnologias adequadas à realidade, para que as instituições públicas apliquem esse estudo no sentido de coibir os gastos, reduzindo o custo social, agregando economia e sustentabilidade ao uso adequado do espaço físico das edificações institucionais com uso educacional.

1.1 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Tendo em vista a vida útil e os tipos de materiais utilizados nas edificações das Instituições de Ensino Superior - IES, a necessidade de adequação dessas edificações aos padrões sustentáveis diante dos problemas apresentados nas mesmas que vem gerando altos custos justificam o estudo da viabilidade econômica da implantação de um sistema de redução do consumo energético dessas edificações priorizando a economia dos gastos públicos com alternativas que possibilitem o aproveitamento do recurso com eficiência.

Neste contexto a adequação sustentável do espaço físico e a qualificação dos ambientes acadêmicos é imprescindível para o desenvolvimento do ensino, da pesquisa, das produções científicas e das ações sociais voltadas para todas as áreas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar sob a ótica econômica, a substituição das coberturas tradicionais por coberturas termoacústicas com painéis fotovoltaicos, considerando as características locais, sustentabilidade e economicidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Estabelecer parâmetros e indicadores que aponte a cobertura adequada para cada tipo de edificação; mensurando seu custo final.
- b) Demonstrar os benefícios sustentáveis e econômicos da substituição dessas coberturas relacionados ao consumo de energia elétrica.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Com enfoque nas edificações de ensino superior, a substituição das coberturas tradicionais por outras sustentáveis é mais viável considerando a adequação ambiental e o custo, uma vez que as coberturas tradicionais presentes nessas edificações não contemplam as necessidades atuais. Como estudo de caso para esta pesquisa, considerou-se as edificações construídas na Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto – UFPA, na cidade de Belém/PA, coletando informações das edificações sendo elas: Prédio da Reitoria e Prédio Anexo da Reitoria, Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza e Passarelas de Acesso, utilizando no estudo de caso etapas de planejamento da pesquisa, levantamento de dados e a utilização de indicadores de viabilidade econômica para a análise e obtenção dos resultados, ressaltando que a possibilidade de ampliações do estudo implicará em outras análises e/ou casos considerando a especificidade de cada edificação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está disposto em 5 capítulos, tais capítulos discorrem na seguinte estrutura: **Capítulo 1 – Introdução:** Enfatiza o tema a ser estudado, justificativa, importância, objetivo e delimitação da pesquisa; **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** Apresenta os estudos utilizados como parâmetros, conceitos e definições neste trabalho; **Capítulo 3 – Metodologia e Materiais:** Apresenta a forma como a pesquisa será realizada, etapas, demonstra o objeto de estudo deste trabalho, suas características, apresentando as alternativas e o estudo realizado para aplicação da mais adequada; **Capítulo 4 – Resultados e análises:** Apresenta os custos, e a análise final do método mais adequado, e a previsão dos resultados a serem alcançados; **Capítulo 5 – Conclusão**

São apresentados na estrutura do trabalho as Referências Bibliográficas e os Apêndices ao final do mesmo.

A figura abaixo apresenta a estrutura do trabalho em 5 capítulos, os quais detalham a sequência da pesquisa realizada



Figura 1 - Estrutura do trabalho (Autor, 2018).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COBERTURAS

HISTÓRICO

No início da civilização o homem já possuía o instinto e necessidade de procurar por lugares onde pudesse se abrigar e se proteger das forças da natureza e animais ferozes procurando cavernas e copas de árvores além da necessidade de delimitar seu espaço próprio (Figuras 2 e 3). Posteriormente esses abrigos naturais foram substituídos por estruturas construídas pelo homem que ao longo do tempo vieram passando por grandes transformações.

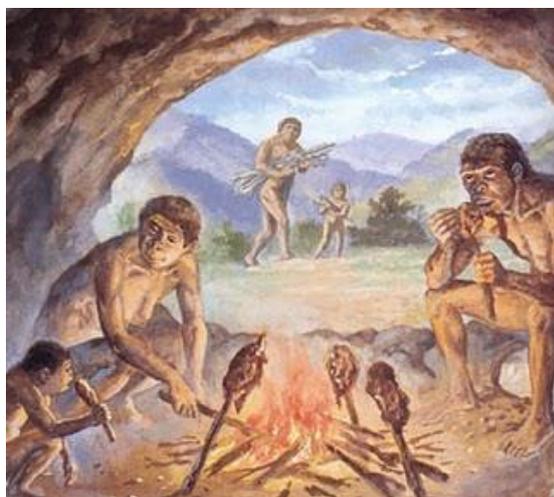


Figura 2- Período Paleolítico (7.000.000-18000 - a.C.) – Moradia em Cavernas. Fonte: www.slideshare.net/fabianatonsis/

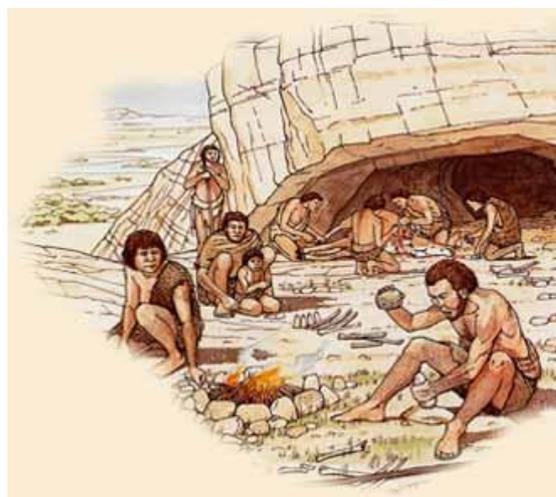


Figura 3- Período Paleolítico (7.000.000-18000 - a.C.) – Moradia em Cavernas. Fonte: www.temposhomens.blogspot.com.br

A cobertura é o elemento de proteção das edificações e sempre esteve presente na civilização sendo utilizada para cobrir espaços cada vez mais amplos, para suprir as necessidades fundamentais do homem que ao começar a exercer atividades de cultivo, criação de animais e a controlar o fogo precisava de apoio e proteção para estas novas atividades. Nesta época o homem começou a utilizar materiais naturais como folhagens, pele de animais, cascas de árvores e o colmo para cobrir seus abrigos (figura 4). Por serem materiais perecíveis tinham pouca durabilidade o que fez com que o homem começasse a procurar por materiais de maior durabilidade para atender melhor suas necessidades (CAMPOS,2015).

Tipo de Coberturas Percíveis (cascas de árvore e peles de animais) representadas na figura 4.



Figura 4- Coberturas Percíveis. Fonte: <http://blogfaxineirosdahistoria.blogspot.com.br>

As casas primitivas que possuíam cobertura com materiais naturais de colmo ou madeira (Figuras 5 e 6) foram substituídas pela de telhas sobrepostas. Tem-se registros que no Período Neolítico, 8 mil a.C. o homem utilizava o barro vermelho, ainda assim existem registros de que os assírios já conhecessem o seu uso (cerca de 6500 a.C). O cozimento dava à argila a resistência necessária para ser utilizada nas edificações. Na época de Kiniras, rei de Chipre a quem é atribuída à invenção da telha esse material foi amplamente utilizado (LACERDA,2012).



Figura 5- Período Neolítico (10.000 a.C à 5.000 a.C) - Cobertura em sapê- Casa Neolítico da exposição em Stonehenge, Salisbúria, Wiltshire, Inglaterra. Fonte: site Dreamstime.

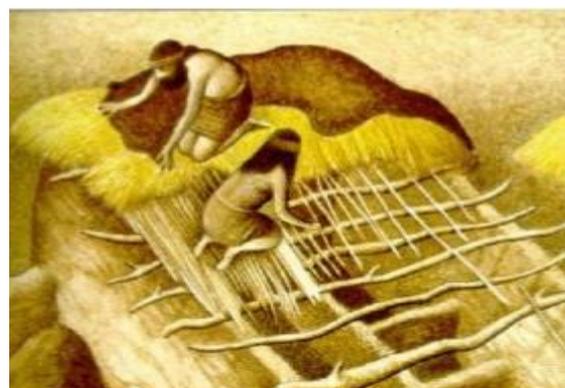


Figura 6- Coberturas em sapê- Período Neolítico Fonte: <http://pt.slideshare.net/cabaptista/as-primeiras-sociedadesprodutorascristinamarinheiro>

A história demonstra que o homem procurava aproveitar os recursos naturais disponíveis, aproveitou a argila transformada em cerâmica que começou a produzir após dominar o fogo (Figura 7), descobriu as propriedades das pedras naturais entre elas a pedra calcária, arenito e a ardósia (Figura 8) que eram cortadas em pedaços finos e utilizadas de forma conjugada nos telhados(U.T.L., 2006/2007).

No Império Romano (27 a.C. à 476 d.C.) a telha passou a ser largamente utilizada pelos romanos que introduziram de forma intensiva os materiais cerâmicos na construção das edificações assim como outros materiais disponíveis. Os romanos conquistaram grandes avanços na construção demonstrando notável habilidade no manuseio e aproveitamento dos materiais disponíveis na época (TRINDADE).



Figura 7- Cobertura cerâmica, telha. Fonte: <https://roma-antiga.blogspot.com.br>



Figura 8- Cobertura utilizando Ardósia. Fonte: <https://pixabay.com/pt/telhado>

Os metais também foram muito utilizados como elemento de cobertura o chumbo por sua maleabilidade, durabilidade e uma proteção de alta qualidade foi muito utilizado, sua desvantagem era o peso excessivo que dificultava, principalmente, o seu transporte e sua baixa resistência mecânica para o uso em edificações de grandes vãos. A utilização desses metais pode ser constatada através de uma das primeiras construções a Cúpula do Rochedo em Jerusalém que data de 685 d.C. ~ 691 d.C construída com 10.000 placas de ouro (Figura 9). O cobre por possuir características duráveis e aspecto atraente foi utilizado de forma satisfatória, porém teve seu uso restrito devido seu alto custo (TRINDADE).



*Figura 9- Cúpula de Rochedo Jerusalém (Israel)- Cobertura com ouro. Fonte:
<http://www.aecweb.com.br>*

Ao final dos anos 1100 na Inglaterra e algumas cidade da Europa, a palha ou sapê ainda era utilizado em grande escala como cobertura de edificações devido ao seu custo, flexibilidade e disponibilidade naquela época. Contudo devido ser um material inflamável foi deixando de ser utilizado devido a grandes incêndios ocorridos sendo substituída pela ardósia nos locais em que esta pedra se encontrava disponível. A redescoberta das telhas de argila e ardósia passou a ser largamente utilizadas por serem mais duráveis e não combustíveis oferecendo uma grande vantagem em relação à madeira e o sapê ocasionando avanço significativo na evolução da utilização dos materiais nas coberturas das edificações. No período de transição entre a Idade Média e Idade Moderna por volta do século XIV marcado pelo período renascentista(1420 ~ 1620) grandes obras foram construídas destacando-se nelas surpreendentes inovações estéticas e técnicas com o uso de materiais mais resistentes nas coberturas como a Catedral de Florença na Itália concluída por volta de 1467 com cobertura feita em tijolos colocados como escamas de peixe e nervuras longitudinais (Figura 10), o Hospital medieval Hôtel-Dieu construído em 1452 em Beaune na França com cobertura em telhas coloridas(Figura 11), a Universidade de Oxford na Inglaterra (obra de 1474) com o uso do cobre em sua cobertura (Figura 12)(TRINDADE).



Figura 10- Catedral de Florença-Itália (Cobertura em tijolos, cerâmicas recolocadas em escama).
Fonte: <http://arteeducacaodf.blogspot.com.br>

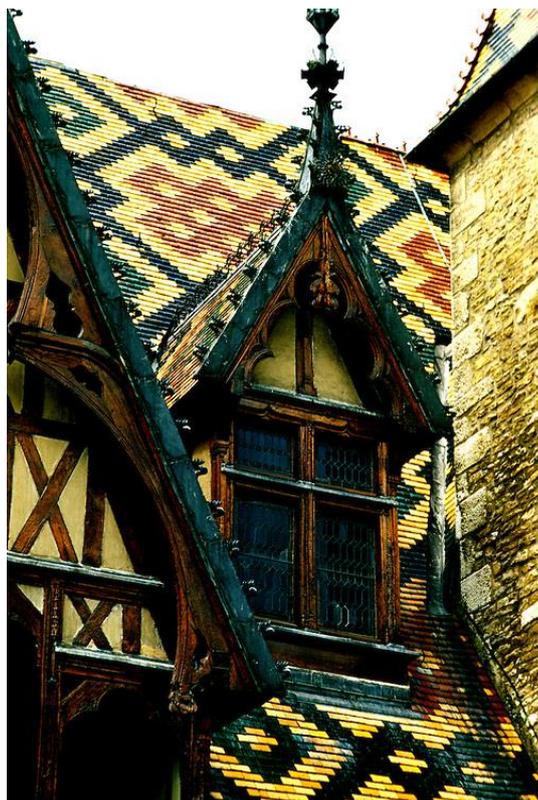


Figura 11- Telhado Hospital medieval Hôtel-Dieu, cidade de Beaune-França-(Construção 1337 a 1453).
Fonte: <http://leefoster.photoshelter.com>



Figura 12- Universidade de Oxford na Inglaterra (obra de 1474) com o uso do cobre em sua cobertura. Fonte: <http://www.pullmantur.com.co>

No século XIX, com a revolução industrial, a utilização do ferro trouxe profundas modificações na engenharia e na arquitetura. O ferro devido a sua versatilidade passou a ser largamente utilizado como material de cobertura para vários tipos de edificações modificando o panorama das cidades introduzindo a modernidade. Sua utilização em larga escala tinha como principal característica seu aproveitamento em grandes vãos, maior suporte de cargas e resistência ao fogo. A Biblioteca de Sainte-Geneviève em Paris (Figura 13), construída entre os anos de 1838 a 1850 foi o primeiro edifício não industrial do mundo numa estrutura de ferro.

Após a revolução outros materiais foram sendo utilizados e aperfeiçoados como o alumínio que tem como primeiro registro de uso em cobertura datado de 1897 na Itália. A utilização do alumínio em coberturas passou a ser utilizado neste período, porém não se pode precisar a data exata de início de sua utilização. A Igreja San Giocchino em Roma na Itália (Figura 14) que data de 1897 possui seu domo em alumínio sendo considerado o marco inicial da utilização desse material em coberturas (GOMES,2000).

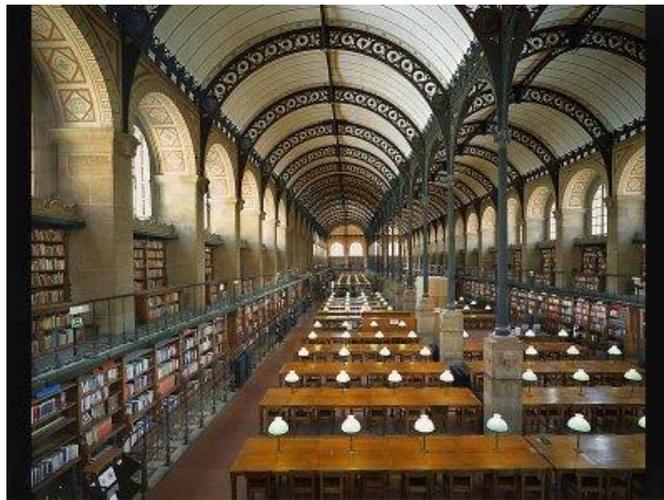


Figura 13- Biblioteca de Sainte-Geneviève em Paris. Fonte: <http://studiomil111.blogspot.com.br>



Figura 14- Igreja San Giocchino em Roma. Fonte: <https://www.romasparita.eu>

Ao longo dos anos, com a substituição gradativa dos materiais perecíveis nas coberturas das edificações por materiais de cerâmica (figura 15), pedras e metais urgiu-se a necessidade de alteração nas estruturas de suporte, introduzindo-as maior reforço, maior inclinação para o escoamento da água e maior estanqueidade visando um maior conforto, proteção, durabilidade e economia. Atualmente com o avanço da engenharia novas técnicas de construções e novas tecnologias para o uso de materiais existem uma diversidade de coberturas que variam de acordo com a necessidade de cada edificação. As coberturas podem ser em concreto, em vidro, metálicas, cerâmicas, policarbonatos, madeiras, fibras vegetais e até mesmo as coberturas verdes conhecidas como jardins (CAMPOS, 2015).



Figura 15- Aeroporto Internacional de Kansai, em Osaka no Japão. Ao lado, cobertura em concreto da Igreja São Francisco de Assis, em Belo Horizonte. Fonte: <http://brasiliaconcreta.com.br>



Figura 16- Coberturas com telhas de cerâmica, muito utilizadas em residências. Fonte: <http://brasiliaconcreta.com.br>

Dessa forma podemos observar que ao longo do tempo com a evolução da humanidade as técnicas e utilização de materiais vieram se aperfeiçoando e se adequando de acordo com as necessidades da época.

2.1.1 TIPOS DE COBERTURA:

Os sistemas de cobertura “são os conjuntos de elementos e componentes dispostos no topo da edificação. É a eles que se refere à quinta parte da Norma de Desempenho (ABNT NBR 15.575-5:2013). Os sistemas de cobertura agregam lajes, telhados, forros e outros elementos como calhas e rufos. Têm como função assegurar estanqueidade às águas pluviais, protegendo os demais sistemas da edificação contra a deterioração por agentes naturais, além de contribuir para melhor conforto termo acústico do edifício” (CORSINI,2013).

As coberturas possuem características que são determinadas pela técnica utilizada e/ou material empregado, podendo ser classificadas em:

- a) Coberturas Minerais: Executadas com pedras naturais, foram muito utilizadas na antiguidade, principalmente com a ardósia, pedra calcária e arenito. Posteriormente vieram sendo substituídas por materiais mais leves e de melhor fixação, como as placas de cimento amianto.
- b) Coberturas vegetais rústicas (sapé): Executadas com palhas (folhas secas), eram utilizadas de forma provisória devido à sua perecibilidade e menor proteção.
- c) Coberturas vegetais beneficiadas: Executadas com material vegetal, principalmente tábuas de madeira.
- d) Coberturas com membranas: Utilizadas com uso de membranas plásticas (lonas) protendida por cabos, e as estruturas pneumáticas (atuação da pressão de gases), com estruturas de madeira ou metálicas (Figura 20 e 21). Muito utilizadas em coberturas de centros esportivos, áreas comerciais e construções industriais, devido ao seu custo viável e eficiente e à sua flexibilidade (OLIVEIRA, M.A; BARBATO, L.R.A,2005).
- e) Coberturas em malhas metálicas: feitas em estruturas metálicas articuladas (Figura 22), utilizando como vedação elementos plásticos, acrílicos ou vidros. São estruturas espaciais ou treliças espaciais, amplamente utilizadas em coberturas de edificações que necessitem grandes áreas livres, como centros de exposição, ginásios e hangares. As vantagens para a utilização deste tipo de cobertura em relação às estruturas mais utilizadas (chamadas convencionais) são: menor peso, custo viável, fácil montagem e desmontagem, grande rigidez, excelente para obras de grandes vãos e facilidade de fixação de instalações.
- f) Coberturas Planas: são os terraços, estruturas em arco e planas em superfície inclinada. No caso dos arcos, são estruturadas em laje em forma de arco (tipo casca), com sistema de impermeabilização e isolamento térmico (Figura 23). No caso dos terraços, geralmente possuem piso. O sistema de apoio dessas coberturas pode ser em concreto armado, madeira e metal, de acordo com a necessidade do projeto. As armações, quanto à parte estrutural, podem ser de concreto armado (sistemas de vigas pré-moldadas, sistemas de pórticos, sistemas de estruturas especiais integradas), metal (sistemas de vigas e arcos treliçados, sistemas de estruturas especiais -treliças espaciais) e madeira (sistema de vigas e arcos treliçados em madeira maciça, vigas e arcos treliçados em madeira colada, sistema de treliças tipo tesouras e sistema tipo cavalete).

2.1.2 COMPONENTES DA COBERTURA

Os elementos que compõem o sistema de cobertura são telhados, calhas, rufos, lajes e forros. A função principal das coberturas é a proteção das edificações. Para uma cobertura adequada, torna-se imprescindível considerar aspectos relacionados à sua utilidade: impermeabilidade; leveza; isolamento térmico e acústico; sustentabilidade; estética (forma e aspecto harmônico com a linha arquitetônica); dimensão dos elementos; estrutura; economia (custo da solução adotada); durabilidade; e fácil manutenção (UEPG, 2011).

O sistema de cobertura é determinado pela estrutura utilizada, tipo de telhado e materiais aplicados devendo considerar a proteção de todos os elementos da edificação assim como a qualidade de vida do usuário. Assim torna-se imprescindível a análise da estrutura utilizada, tipo de telhado, consumo energético e o estudo dos tipos de telhas para a escolha adequada (UEPG, 2011).

2.1.2.1 ESTRUTURAS:

O sistema de cobertura necessita de uma estrutura que suporte os materiais a serem utilizados, oferecendo estabilidade ao sistema e à edificação de maneira geral. A estrutura é composta por um conjunto de elementos estruturais, geralmente determinados pela área da edificação, tipo de telhado e o tipo de telha a ser empregado. Atualmente as estruturas de um sistema de cobertura mais executadas utilizam materiais como madeira, concreto, aço e alumínio.

a) ESTRUTURA DE MADEIRA

A estrutura de madeira é um dos tipos de estrutura mais antigos utilizados na construção civil devido à disponibilidade desse tipo de material na natureza. Os tipos mais usuais no Brasil são: estrutura descontínua de madeira serrada; estrutura pontaletada; e estrutura de madeira laminada colada (MLC).

O madeiramento para um sistema de cobertura em estrutura descontínua de madeira serrada é dividido em estrutura principal e secundária. A parte principal, apoiada na estrutura da edificação, corresponde à estrutura responsável pela distribuição das cargas verticais geradas pela estrutura secundária e telhado, para a edificação, ou seja, sustenta todo o sistema de cobertura (ABNT NBR 15.575-5:2013).

A estrutura principal mais utilizada é a tesoura, composta por: banzo inferior, banzo superior, pendural, diagonais e pontaltes. Já a parte secundária, apoiada na estrutura principal, tem a função de sustentar e fixar o telhado. Também chamada de trama, é composta por terças, caibros e ripas, os quais formam uma espécie de “grelha”.

As principais vantagens e desvantagens de utilizar a estrutura de madeira são:

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Acessibilidade e disponibilidade no mercado;	Suscetível ao ataque de xilófagos (cupins, besouros, etc);
Baixo custo (material e mão de obra);	Necessidade de tratamento (impermeabilizações, etc);
Não oxidação;	Vulnerável às variações de temperatura e umidade;
Baixa condutibilidade térmica.	Baixa durabilidade.

Tabela 1- Vantagens e desvantagens da utilização de estrutura descontínua de madeira serrada para cobertura. (Autor, 2018)

Outra desvantagem que a ser considerada é a capacidade de vão da estrutura de madeira. Dependendo do tipo de telha, a estrutura necessitará de madeiras de maior classe de resistência e dimensão, chegando seu custo total a ser mais caro que de uma estrutura metálica, por exemplo.

A utilização da estrutura descontínua de madeira serrada para cobertura é muito frequente em residências unifamiliares e edificações em geral.

Segundo Gonzaga,2006 e FLACH, 2012a estrutura pontaletada é utilizada quando se tem laje de cobertura. Neste caso, a tesoura é substituída pelo pontalete (peça de madeira serrada orientada verticalmente), utilizando como apoio intermediário as lajes e alvenarias. Tem como principal vantagem a economia da quantidade de madeira a ser utilizada.

A estrutura secundária deste sistema é semelhante ao anterior, porém, com as terças apoiando-se diretamente no pontalete.

A madeira laminada colada (MLC) é composta de tábuas unidas longitudinalmente e coladas entre si, aumentando o comprimento e a espessura da peça final (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2003, e Flach, 2012).

As principais vantagens e desvantagens desta estrutura são:

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Maior limite de vão da cobertura	Custos elevados
Melhor adaptação às variações de temperatura e umidade	
Maior aproveitamento da tora reduzindo desperdícios	
Versatilidade de formas	
Resistência ao fogo e agentes corrosivos	
Aparência	
Redução da possibilidade de defeitos	

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da utilização de estrutura pontaletada (Autor,2018).

Este tipo de sistema de cobertura é comumente utilizado em igrejas, ginásios, galpões, pois consegue vencer grandes vão, resiste às intempéries e é visualmente elegante.

b) ESTRUTURA METÁLICA

A estrutura metálica é recomendada quando há necessidade de vencer grandes vãos, com vantagem sobre outras estruturas (concreto, por exemplo), apresentando baixo peso próprio. Esse tipo de estrutura é muito utilizado em edifícios industriais, galpões e ginásios.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Resistência;	Viabilidade econômica sazonal;
Durabilidade;	Baixa resistência ao fogo;
Atende a grandes vãos, com baixo peso próprio;	Necessidade de tratamento (corrosão, etc);
Velocidade de montagem.	-

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens da utilização de estrutura metálica para cobertura. (Autor,2018)

As estruturas metálicas mais utilizadas para cobertura no Brasil são: tesoura, viga treliçada, viga de alma cheia, terças e treliças espaciais. Nota-se que, normalmente, o emprego de caibros e ripas é dispensado, em virtude da utilização de telhas de maior extensão (FLACH, 2012).

Geralmente a tesoura é a alternativa que apresenta o menor peso próprio e, por isso, deve ser considerada primeiro. A viga treliçada é recomendada quando há baixa inclinação do telhado ou quando o vão a ser vencido é superior a 15 metros. Já a viga de alma cheia é geralmente empregada quando a estrutura da edificação é feita através de perfis de aço, aproveitando o mesmo perfil. As treliças espaciais são aplicadas quando não há orientação preferencial, nas quais os lados são extensos o bastante para inviabilizar econômica e esteticamente o uso de tesouras e vigas (FLACH, 2012).

c) **ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**

Utilizando o concreto como material, as estruturas para cobertura podem ser lajes ou estruturas descontínuas. As mais usuais na realidade brasileira são as lajes de cobertura, maciças ou pré-moldadas, presentes nas construções mais comuns, como residências unifamiliares e edificações variadas.

As principais vantagens e desvantagens estão presentes na tabela a seguir.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Durabilidade;	Alto custo (material e mão de obra);
Resistência;	Necessidade de complementação (de uma estrutura pontaletada, por exemplo).
Conforto térmico.	Peso próprio elevado.

Tabela 4- Vantagens e desvantagens da utilização de laje como estrutura de cobertura. (Autor,2018)

Já as estruturas descontínuas são baseadas nas configurações da estrutura descontínua de madeira serrada e/ou pontaletada, isto é, apresentam o mesmo sistema de estruturas principal e secundária, entretanto, no lugar da madeira, o material utilizado é o concreto armado, podendo ser moldado “*in loco*” ou pré-moldado.

Suas vantagens são semelhantes ao sistema de lajes, porém, a complexidade de montagem de formas e concretagem, para o caso de estruturas moldadas “*in loco*”, elevam os parâmetros de custo e cronograma, tornando este sistema pouco utilizado no Brasil.

2.1.2.2 TELHA

Segundo a NBR 15.575-5:2013(ABNT), telhado é um elemento constituído pelos componentes: telhas, peças complementares e acessórios que compõem o sistema de cobertura.

a) Cerâmica:

A telha cerâmica é culturalmente o tipo mais utilizado no Brasil, principalmente em residências unifamiliares. Suas vantagens são o baixo preço, grande disponibilidade no mercado (com grande variedade de modelos) e o conforto térmico propiciado (LOGSDON, 2002). Como desvantagem, a telha cerâmica é menos resistente que outros tipos de telha, não é recomendada para locais com ocorrência de granizo e geralmente sofre acúmulo de “lodo” e sujeira, necessitando de manutenção com maior frequência.

Devido à diversidade de tipos de telhas cerâmicas, a NBR 15310 (ABNT, 2005) as classifica em relação aos parâmetros de geometria e fixação, da seguinte forma:

- a₁) Telhas planas de encaixe. Ex.: telha francesa;
- a₂) Telhas compostas de encaixe. Ex.: telha romana;
- a₃) Telhas simples de sobreposição.Ex.: telha colonial, telhas capa e canal dos tipos paulista, Plan e Piauí;
- a₄) Telhas planas de sobreposição.Ex.: germânica.

b) Metálica

b₁) Alumínio

Telhas ofertadas no mercado nos perfis ondulados e trapezoidais. São telhas leves, resistentes, duráveis e de fácil manuseio, entretanto de custo elevado, se comparado com as telhas de aço.

b₂) Aço

As telhas de aço apresentam uma diversidade de perfis (ondulados, trapezoidais e especiais) e tipo de aço (zincado, Aluzinc ou Galvalume, inoxidável, etc.). As mais comuns são as de aços zincado e galvanizado, nos perfis ondulados e trapezoidais, regidos pelas normas NBR 14514:2008 e NBR 14513:2008, respectivamente. As telhas de aço permitem executar coberturas com pequenas inclinações e, também, são disponibilizadas no mercado com pintura eletrostática, em diversas cores.

São telhas leves, de alta resistência e durabilidade, sem absorção de umidade e propagação de chamas, além de serem leves e fáceis de manusear. São capazes de vencer grandes vãos, proporcionando agilidade na montagem, e necessitam de pouca manutenção (GERDAU, 2017). Apresentam custo mais elevado que as cerâmicas, no entanto, isto pode ser compensado com a durabilidade e a mínima manutenção.

c) Fibrocimento

Em substituição às telhas de amianto, as de fibrocimento são, junto com as cerâmicas, as mais utilizadas no Brasil, principalmente em residências unifamiliares e edificações habitacionais de padrão popular. Além de serem mais baratas, são leves, conseguem vencer vãos consideráveis e requerem menor estrutura de sustentação, dispensando alguns apoios intermediários. São disponibilizadas no mercado em diversos modelos, tamanhos e espessuras, sendo que seus perfis mais comuns são ondulados e kalhetão.

A grande desvantagem da telha de fibrocimento é a sua baixa capacidade de isolamento térmico, a qual transmite boa parte do calor externo para dentro do ambiente, aumentando gastos com energia elétrica e aparelhos de refrigeração. Para sanar este problema, é necessário utilização de manta térmica, a qual possui custo elevado.

d) Concreto

Telhas disponíveis no mercado em modelos variando de acordo com o fabricante, sendo que geralmente o fabricante dispõe de um modelo tradicional (Coppo Veneto) e um plano, além da diversidade de cores (geralmente os fabricantes disponibilizam sete opções de cores). Apesar do preço unitário mais elevado, dependendo da região, pode apresentar menor custo, pois possui menor consumo por metro quadrado, se comparado com a telha cerâmica.

Seu peso unitário varia de 4,3 a 5kg, conforme estipulado pela norma NBR 13858-2:2009. Apesar da variedade comercial, são necessárias, em média, 10,5 unidades/m² de telhado. Realizando uma simples comparação com a telha cerâmica romana, a qual necessita em média 16 unidades/m² de telhado, no final há equivalência entre os pesos, sendo necessária, em grande maioria, a mesma estrutura de sustentação.

De acordo com seus fabricantes, as telhas de concreto apresentam: menor consumo por metro quadrado; encaixes perfeitos; maior resistência (inclusive ao impacto de granizo e à maresia); alta durabilidade com baixa necessidade de manutenção; menor absorção de água e maior impermeabilidade, estando menos suscetíveis à presença de fungos e acúmulo de sujeira (Tégula; Decorlit, 2015).Entretanto, nas regiões mais quentes, para obter conforto térmico maior que a telha cerâmica, a escolha do cliente deve ser restringida às cores claras.

e) **Termoacústica**

Com o aumento da utilização das telhas termoacústicas, houve a necessidade de criação da NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termoacústico - Requisitos de desempenho, a qual “estabelece requisitos de classificação de desempenho para especificação, encomenda, fabricação e fornecimento de telhas metálicas, a partir de aço galvanizado, galvalume, alumínio e aço inoxidável de seção ondulada ou trapezoidal, zipada ou painéis metálicos, camada de material isolante com características térmicas e acústicas e de flamabilidade” (ABNT, 2015).

As telhas termoacústicas, também chamadas de “sanduíche”, são constituídas de duas telhas metálicas revestindo um material de isolamento termoacústico. Existem também no mercado, apesar de não muito usuais, modelos constituídos por uma única telha com revestimento inerte inferior.

A finalidade do isolamento termoacústico é, como seu próprio nome diz, promover o mais elevado isolamento térmico e a máxima redução do ruído externo (ABCCEM, 2009). Ainda conforme a ABCCEM, o grau de isolamento térmico varia conforme o material, sendo os mais comuns:

e₁) Poliuretano expandido, material que possui a melhor capacidade isolante dentre os diversos materiais existentes, porém, o mais caro.

e₂) EPS (poliestireno expandido), material mais utilizado quando se necessita de boa capacidade isolante, mas com baixo custo. Possui custo menor que o poliuretano, bem como seu desempenho.

e₃) Lã mineral (lã de rocha e de vidro), material de custo e desempenho abaixo do EPS. Geralmente, a montagem da telha sanduíche é realizada na obra, necessitando de mais tempo e mão de obra.

Para isolamentos mais rigorosos, nos casos de poliuretano e EPS, os preenchimentos podem ser encomendados com maiores densidades e espessuras. (ABCCEM, 2009). Os perfis mais fornecidos para este sistema são ondulados e trapezoidais, podendo ser de alumínio ou aço.

As grandes vantagens deste tipo de telha são a sua capacidade de isolamento térmico e acústico, e, apesar de duas telhas mais preenchimento, o sistema é leve e não sobrecarrega a estrutura (ABCCEM, 2009). A desvantagem seria o custo de investimento inicial, mas este gasto é compensado com a economia de energia.



Figura 17- Telha sanduíche de aço galvanizado com revestimento em Poliuretano (Fonte: Site Ocel Brasil).



Figura 18- Telha sanduíche de aço galvanizado com revestimento em EPS (Fonte: Site Ocel Brasil).

f) Vidro

As telhas de vidro são usualmente fornecidas em modelos semelhantes às telhas cerâmicas e de concreto. São utilizadas como complementação, a fim de proporcionar maior iluminação ao ambiente. Sua grande vantagem é a redução do gasto de energia com iluminação durante o dia. A desvantagem é o preço mais elevado e a necessidade de um bom projeto para não prejudicar a estética da construção.

g) Outros

Os tipos de telhas listados acima são os mais utilizados nas construções brasileiras, porém, apesar da baixa frequência de utilização, existem também as telhas asfáltica, de policarbonato, translúcida de polipropileno, plástico, etc.

OUTROS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DO SISTEMA DE COBERTURA

Neste tópico serão conceituados outros termos e elementos de composição do sistema de cobertura. Dispostos nos itens abaixo estão algumas definições extraídas da quinta parte da norma de desempenho das edificações habitacionais (NBR 15.575-5:2013).

TERMO/ELEMENTO	DEFINIÇÃO
Água, pano ou vertente	Cada um dos planos inclinados que constituem um telhado.
Caimento	Declividade da água.
Entreforro ou plenum	Espaço compreendido entre o forro e uma laje ou pano de telhado que lhe é paralelo.
Laje plana	Laje de cobertura com declividade menor ou igual a 5%.
Lanternim	Trecho de telhado sobreposto e afastado das águas, destinado a ventilar e/ou iluminar o ambiente coberto.
Subcobertura	Componente impermeável aplicada sob o telhado, com a finalidade de impedir que pequenas infiltrações de água atinjam o forro ou a laje da cobertura. Nota: podem ser incorporadas películas reflexivas ou isolantes, com a finalidade de melhorar o desempenho térmico da cobertura.
Teto	Superfície inferior de uma cobertura, ou de entre pisos, que delimita internam internamente a parte superior de um cômodo.
Forro	Revestimento inferior de cobertura ou de entre pisos, aderido, suspenso ou com estrutura independente.
Viga-calha	Componente estrutural, com formato de canal aberto, destinado à captação e condução da água de chuva do sistema de cobertura.

Tabela 5- Definições de termos e elementos componentes do sistema de cobertura (adaptado de ABNT NBR 15.575-5:2013).

2.1.3 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS COBERTURAS

Com a função de proteção e conforto do espaço interior contra ação das intempéries e radiação solar, o sistema de cobertura perde suas propriedades essenciais ao longo do tempo. Como principais causas dessa perda estão: a intensa exposição aos agentes atmosféricos, má utilização e execução do projeto (RAPOSO, 2009).

Conceitualmente, durabilidade significa “a capacidade de um edifício ou de uma parte de um edifício para desempenhar a sua função durante um determinado intervalo de tempo, sob a ação dos agentes presentes em serviço”, enquanto que vida útil corresponde ao “o período de tempo, após a conclusão da obra, durante o qual é atingido ou excedido o desempenho que lhes é exigido, procedendo-se a uma manutenção de rotina” (ISO 15686-1, 2001 apud RAPOSO, 2009).

O fim da vida útil de um item significa que a capacidade de exercer satisfatoriamente sua atribuição foi perdida, havendo diminuição do desempenho requerido (RAPOSO, 2009). A vida útil, por ser dependente de diversos fatores e parâmetros, é difícil de estimar. Na Tabela abaixo estão dispostos alguns agentes de degradação que influenciam na durabilidade e vida útil dos sistemas de cobertura.

Natureza	Classe	Exemplos
Mecânica	Gravitacionais	Ações permanentes; sobrecarga.
	Forças aplicadas e deformações impostas ou restringidas	Expansão; contração.
	Energia Cinética	Impactos; choque hidráulico.
	Vibrações	Vibrações devidas a tráfego ou equipamentos.
Eletromagnética	Radiação	Solar.
	Eletricidade	Iluminação elétrica.
Térmica	Níveis extremos ou variações acentuadas de temperatura	Calor; geada; fogo; choque térmico.
Química	Água e solventes	Humidade do ar; precipitação.
	Agentes oxidantes	Oxigênio.
	Agentes redutores	Sulfuretos.
	Ácidos	Ácido carbônico; excrementos de pássaros.
	Bases	Cimento; hidróxidos; cal.
	Sais	Cloretos.
Biológica	Substâncias neutras	Gordura; óleo; calcário.
	Plantas e micróbios	Bactérias; fungos; raízes.
	Animais	Roedores; pássaros.

Tabela 6- Agentes de degradação que prejudicam a vida útil do sistema de cobertura (Adaptado de ISO 15686-1, 2001 apud Raposo, 2009).

Existem métodos para prever a durabilidade e vida útil de materiais e componentes, baseados em fatores de degradação, mecanismos de atuação e quantificação (determinísticos), ou na investigação de uma única exigência imposta a um item particular (probabilístico) (RAPOSO, 2009). A norma ISO 15686-1 (2001) propõe um método determinístico para estimar da vida útil de produtos da construção, considerando vários fatores, denominado de Método Fatorial.

Apesar dos sistemas de cobertura serem constituídos com variação de materiais, componentes, formatos, disposições, carregamentos, impermeabilizações, etc., como o foco deste trabalho não é a determinação precisa da durabilidade e vida útil desses sistemas, e com base nos fabricantes (para o caso dos telhados) será estipulado o valor de 20 anos.

2.2 ENERGIA

No universo, tudo que existe é ou provém de alguma forma de energia, tornando-a de essencial importância aos seres vivos, principalmente aos humanos. Pela sua amplitude, essencialidade e complexidade, conceituar energia é extremamente difícil. A definição mais difundida é a da física, que trata energia como a capacidade de se realizar trabalho.

Se tratando de fontes energéticas, estas são classificadas entre renováveis e não renováveis. Energia renovável é aquela em abundância na natureza, com capacidade de renovação dentro da escala de tempo humana. Já não renovável é o tipo de energia caracterizado por apresentar velocidade de utilização consideravelmente maior do que o tempo necessário para sua acumulação, estando suscetível a esgotamento (REIS et al., 2005 apud DOS SANTOS, 2009).

As fontes renováveis de energia mais comuns são: solar, hidrelétrica, eólica, biomassa, geotérmica e oceânica. Alguns autores consideram a energia solar como fonte principal, pois é dela que as outras fontes renováveis são derivadas. São energias consideradas “limpas”, por não poluírem o meio, diferentemente das não renováveis. Todavia, é importante ressaltar que nem toda fonte de energia renovável é limpa, ou seja, não poluente, como no caso das hidrelétricas, que geram severos impactos sociais e ambientais com seus alagamentos (DOS SANTOS, 2009).

Entre os tipos não renováveis mais presentes no cenário energético mundial estão: o carvão, o gás natural e, principalmente, os derivados do petróleo. São os chamados recursos fósseis, sendo extremamente poluentes, pois degradam o ambiente desde a fase de extração até sua utilização (DOS SANTOS, 2009). Exemplificando seu grau de nocividade, estes recursos necessitam de: extração do seu local de acúmulo; transporte (até seu local de refino e depois à usina); queima para geração de eletricidade; transporte desta eletricidade, através de redes de transmissão, até chegar ao consumidor; e eliminação dos resíduos (SHAYANI et al., 2006).

Para este trabalho a questão da energia será direcionada para a geração de eletricidade, por causa do foco da pesquisa e pelo fato de o tema “energia” ser bastante abrangente.

2.2.1 TIPO DE FONTES ENERGÉTICAS

a) FONTES RENOVÁVEIS

a₁) SOLAR

Solar é o tipo de energia gerada através da luz do sol, fonte de energia primária da Terra e mais abundante dos recursos. Se for captada por meio de painéis, é chamada de fotovoltaica e se for captada por meio de coletores solares, chama-se heliotérmica (ou energia solar concentrada).

No caso do sistema heliotérmico, a irradiação solar é inicialmente convertida em calor, para então ser transformada em elétrica. Em seu processo de captação, os coletores captam radiação solar, convertem em calor, transferem para algum fluido para gerar eletricidade.

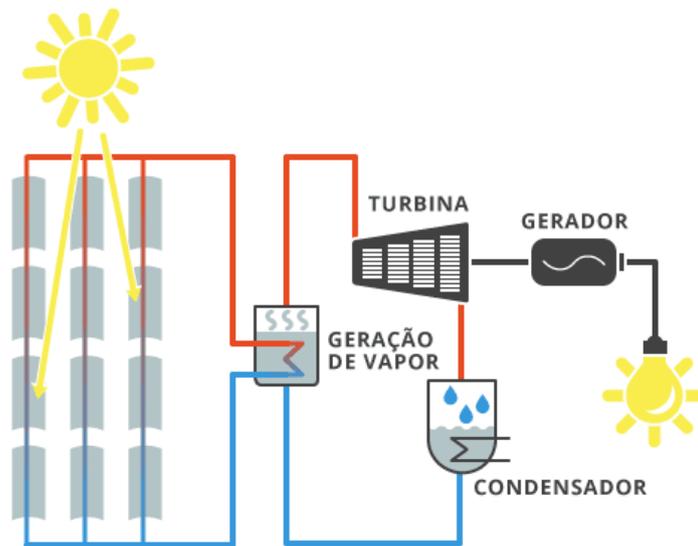


Figura 19- Ciclo heliotérmico simplificado, sem armazenamento. Fonte: <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>

Já as células fotovoltaicas dispensam a fase de conversão da radiação em calor, gerando eletricidade diretamente.



Figura 20- Ciclo Sistema Fotovoltaico. Fonte: <https://pt.linkedin.com/pulse/energia-solar-fotovoltaica-e-termica-henrique-campos>

a2) EÓLICA

Eólica é o tipo de energia gerada através do vento, recurso renovável com frequência e intensidade suficiente para tal geração. O vento, massas de ar em movimento, contem energia cinética de translação, que pode ser convertida em energia cinética de rotação, através dos aerogeradores (turbinas eólicas) para geração de energia elétrica.

REIS (*et al.*, 2005, *apud* DOS SANTOS, 2009) expõe que este tipo de energia é, na realidade, proveniente do solar, devido ao fato de a formação dos ventos derivar da desigualdade no aquecimento da atmosfera pelo sol, ocasionando a movimentação das massas de ar pelas variações de pressões.

Pode ser utilizada em um sistema isolado (Figura 21), ou em um sistema de injeção na rede (Figura 22).

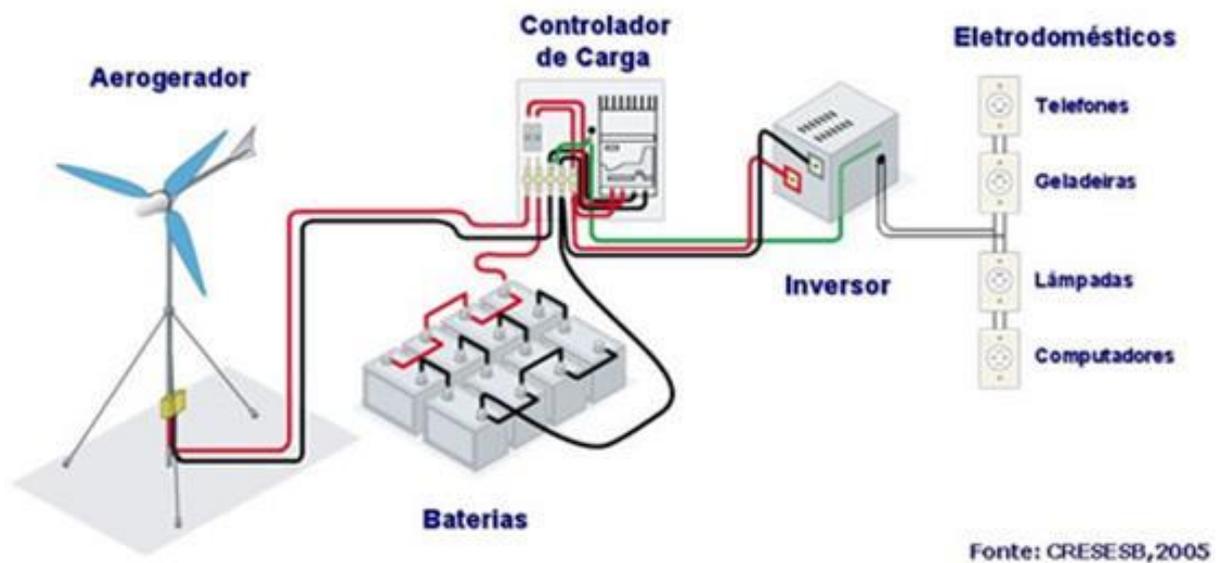


Figura 21- Configuração de um sistema eólico isolado. Fonte:
<https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizontal/>

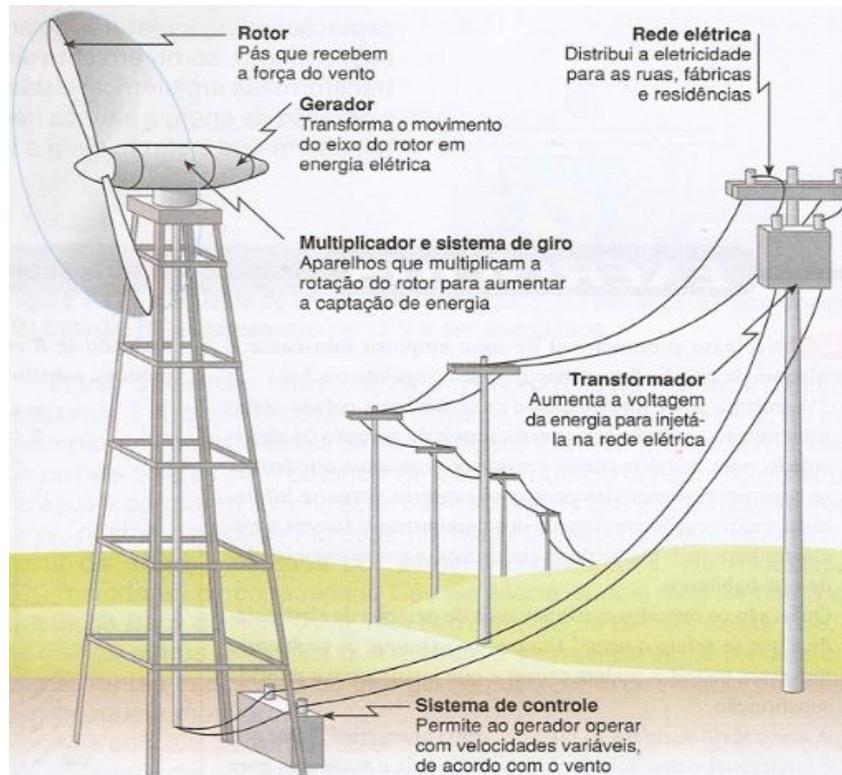


Figura 22- Configuração de um sistema eólico de injeção na rede. Fonte: http://super-energia-eolica.blogspot.com.br/2013_09_01_archive.html

a3) BIOMASSA

A geração de energia através da biomassa é feita por meio da combustão de materiais orgânicos, como resíduos agrícolas, lenha, esterco, restos de alimentos, bagaço de cana de açúcar, etc. A liberação de gás carbônico durante a queima (desde que controlada) é compensada pela fotossíntese realizada anteriormente por esta vegetação, equilibrando o ciclo e considerando a biomassa como um tipo de energia renovável.

Seguindo a mesma linha de raciocínio da energia eólica, a biomassa também deriva da energia solar, pois a vegetação é capaz de armazenar potencial energético através da fotossíntese, a qual só é possível por causa do sol (REIS *et al.*, 2005, *apud* DOS SANTOS, 2009).

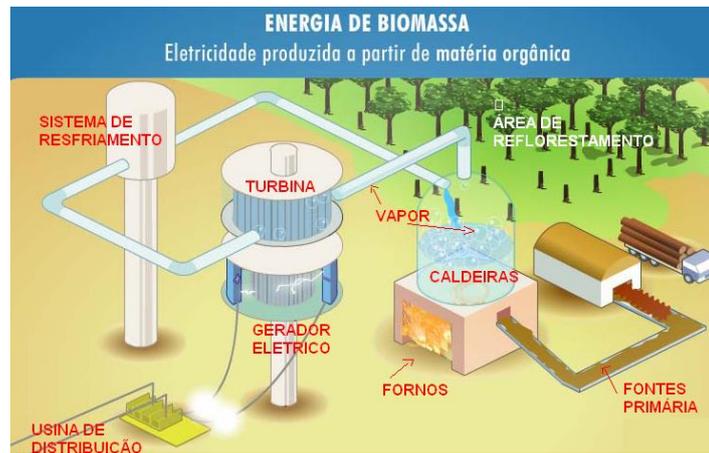


Figura 23- Eletricidade produzida a partir de matéria orgânica. Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgUkAAI/biomassa-biocombustiveis>

a4) GEOTÉRMICA

Geotérmica é o tipo de energia produzida através da grande quantidade de calor gerada nas profundas camadas da crosta terrestre. A grande vantagem desse sistema é a sua independência das condições climáticas, entretanto, a grande desvantagem é a restrição de sua instalação a locais onde as camadas de intrusão do magma são mais rasas e há disponibilidade de água (DOS SANTOS, 2009).

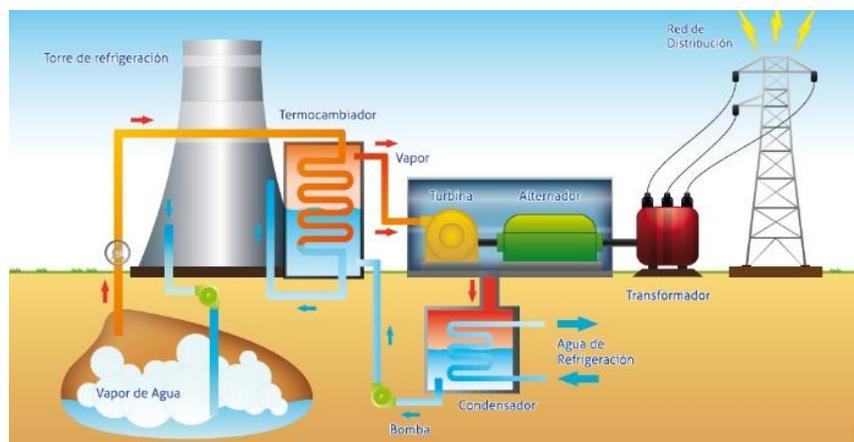


Figura 24-Central geotérmica. Fonte: <http://www.portal-energia.com/energia-geotermica-calor-da-terra/>

as) HIDRÁULICA

Hidráulica é o tipo de energia obtida através do fluxo de massa das águas. Na usina hidrelétrica o processo funciona basicamente com a energia cinética do fluxo d'água sendo convertida em mecânica por meio da rotação de pás e turbinas. Esse tipo de fonte é renovável por utilizar um recurso tão abundante quanto a água, mas a grandeza da estrutura necessária para sua implantação e distribuição geram impactos socioambientais como: perda de espécies de plantas, animais e solo, alterações na geometria e curso do rio, além de afetar as populações do local e entorno.

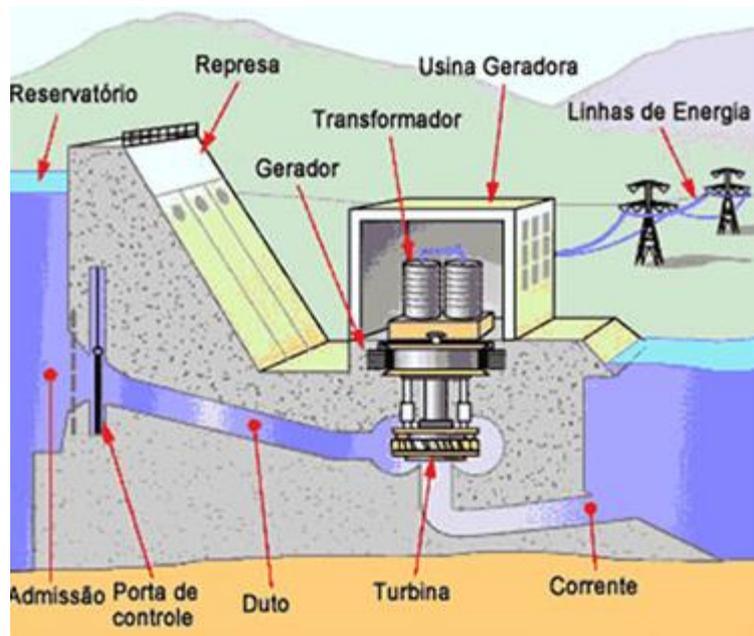


Figura 25- Funcionamento de uma usina hidrelétrica. Fonte: <http://eletronicapro.blogspot.com.br/2010/11/componentes-de-uma-usina-hidreletrica.html>

b) FONTES NÃO RENOVÁVEIS

b1) NUCLEAR

Nuclear ou atômica é o tipo de energia gerada através da fissão do núcleo de urânio enriquecido. As usinas nucleares, utilizadas para produção de energia elétrica, são recomendadas para países e regiões onde há escassez de recursos naturais para geração de energia. Esse tipo de fonte é geralmente desconsiderado pelos fatos de produzir lixo nuclear e possibilidade (mesmo que rara) de acidentes nucleares grandemente nocivos.

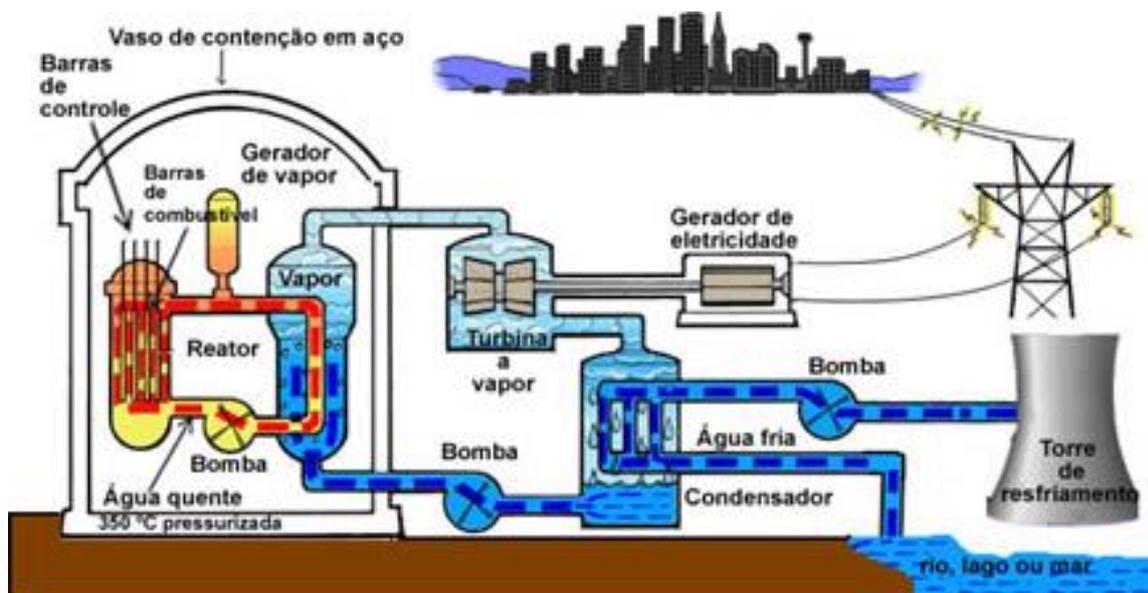


Figura 26- Usina nuclear. Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/reator-nuclear.htm>

b₂) TERMOELÉTRICA

Termoelétrica é o tipo de energia obtida através da queima de combustíveis fósseis como gás natural, carvão e derivados, e derivados de petróleo. Nas usinas termoelétricas o vapor gerado através dessa queima tem capacidade de gerar energia mecânica através da movimentação de turbinas. É um tipo de energia não renovável e extremamente poluente, pois os produtos liberados diretamente na atmosfera, como resultados de sua combustão, são dióxido de carbono (CO₂), dióxido e trióxido de enxofre (SO₂ e SO₃), além da quantidade enorme de poeira.

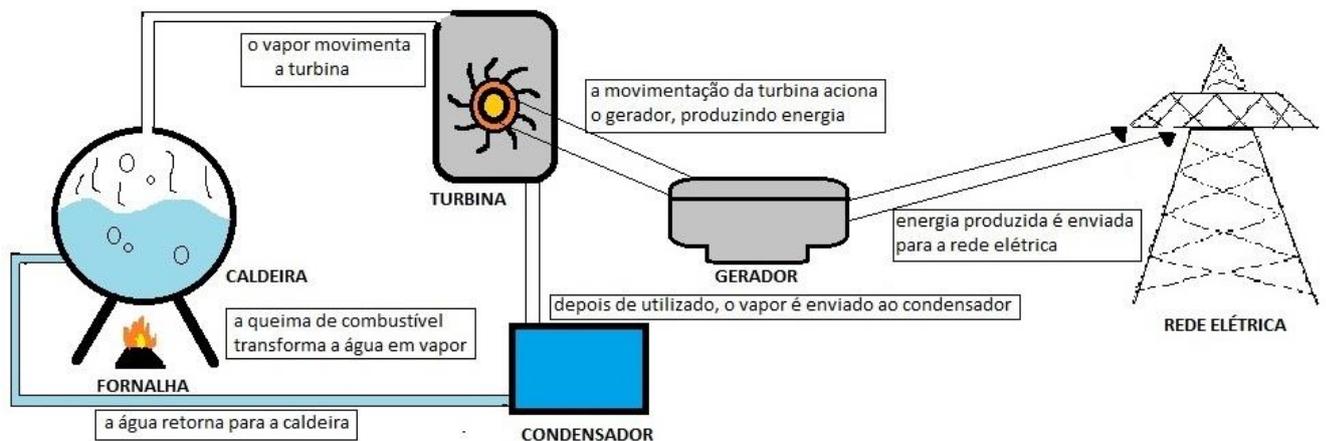


Figura 27- Funcionamento de uma usina termoelétrica. Fonte: <http://caroldaemon.blogspot.com.br/2013/09/como-funciona-uma-termoeletrica.html>

2.2.2 CENÁRIO ENERGÉTICO

No contexto mundial, o cenário energético é liderado pelas fontes não renováveis de combustíveis fósseis, mais especificamente pelos derivados do petróleo.

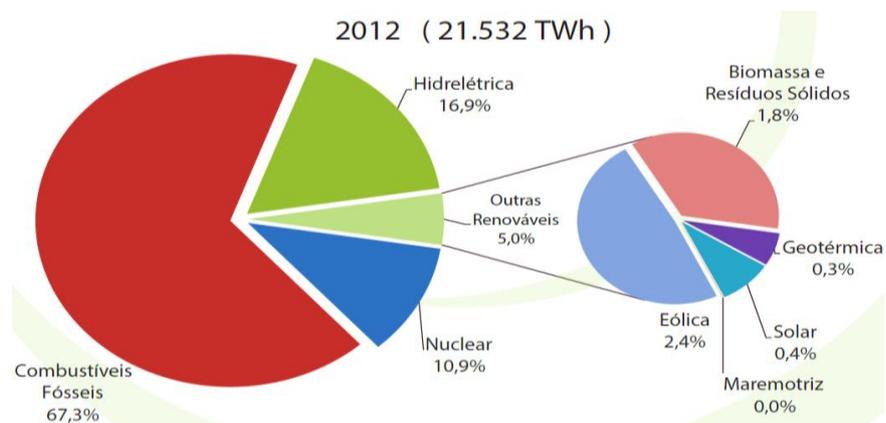


Figura 28- Geração de Energia Elétrica Mundial por fonte no ano de 2012. Anuário estatístico de energia elétrica (EPE, 2016).

No Brasil, contrariando a tendência mundial, a matriz energética é predominantemente hidráulica, ficando os derivados do petróleo somente na quarta colocação, atrás também do gás natural e da biomassa.

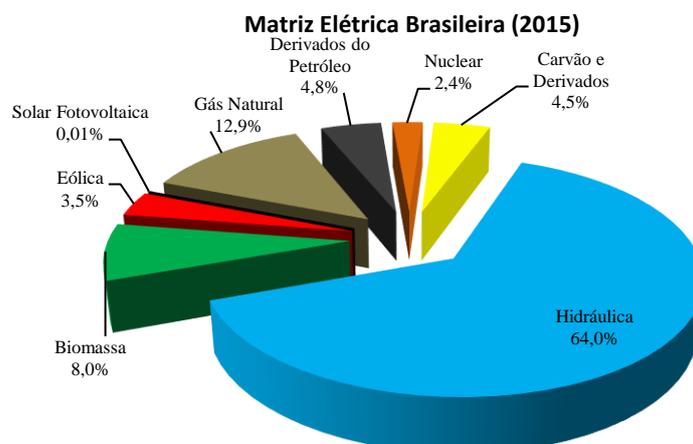


Figura 29- Matriz elétrica Brasileira, incluindo importação. Relatório síntese, ano base 2015 (Adaptado de BEN; EPE, 2016).

Em termos estatísticos, a tabela 7 abaixo demonstra a quantidade produzida por cada recurso utilizado como fonte de energia. A predominância da fonte hidrelétrica é perceptível, bem com sua redução, se comparado com o ano anterior. Percebe-se também a redução na geração das fontes de gás natural, derivados de petróleo e nuclear. No total, a produção no ano de 2015 apresentou redução de 1,53% em relação ao ano anterior. Esta retração se deve, entre outros fatores, pela conjuntura econômica adversa em que o país se encontra (Anuário Estatístico de Energia Elétrica. EPE, 2016).

GERAÇÃO DE E. ELÉTRICA POR FONTE, INCL. GER. DISTRIBUÍDA (GWh).		
Fonte	2015	2014
Hidrelétrica	359.743	373.439
Gás Natural	79.490	81.073
Biomassa (incl. lenha, bagaço de cana e lixívia)	47.394	44.987
Derivados do Petróleo (incl. óleo diesel e óleo)	25.665	31.529
Nuclear	14.734	15.378
Carvão Vapor	19.096	18.385
Eólica	21.625	12.210
Solar Fotovoltaica	59	16
Outras (fontes primárias, gás de coqueria e secundárias)	13.682	13.524
Geração Total	581.486	590.542

Tabela 7- Geração elétrica por fonte (incl. geração distribuída). Relatório síntese, ano base 2015 (Balanço Energético Nacional. EPE, 2016).

Com auxílio dos gráficos abaixo, pode-se perceber um grande crescimento na produção de energia eólica, que passou de 12.210 para 21.625 GWh, representando aumento de 77,11%. Destaca-se também o crescimento de 266,4% da energia solar fotovoltaica, que sofreu elevação de 16 para 59 GWh, entretanto, este tipo de fonte representa somente 0,01% do montante total brasileiro.

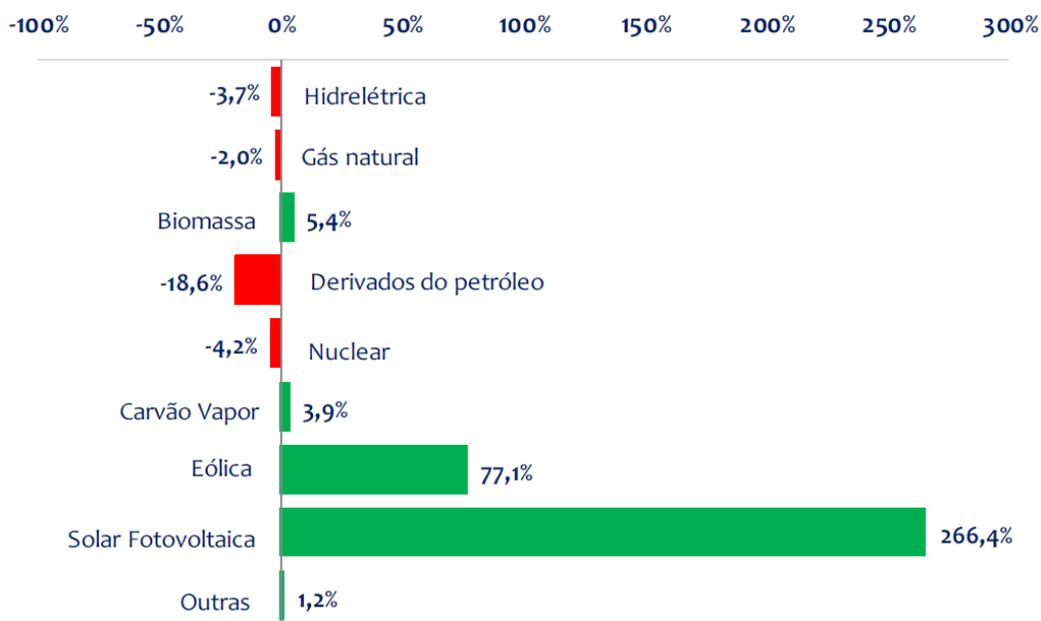


Figura 30- Variação do crescimento entre os anos de 2014 e 2015. Relatório síntese, ano base 2015 (Balanço Energético Nacional. EPE, 2016).

Ainda sobre a energia eólica, o gráfico abaixo demonstra seu desenvolvimento no período de 2007 a 2015, destacando seu crescimento abrupto a partir de 2011 e sua ultrapassagem sobre a energia nuclear no intervalo de 2014 a 2015.

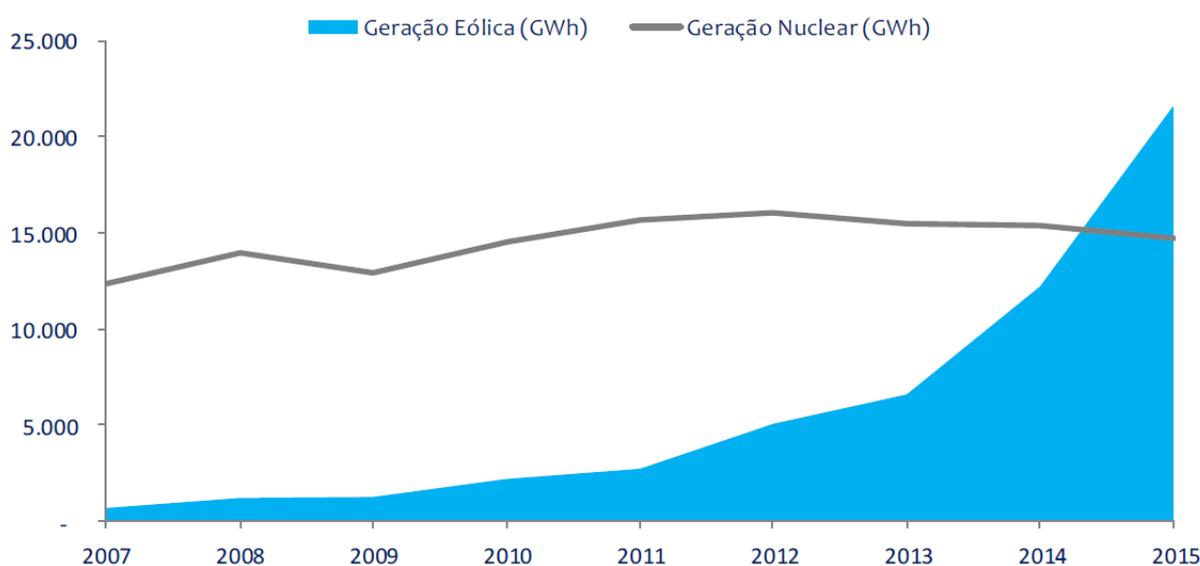


Figura 31- Evolução da geração eólica de 2007 a 2015. Relatório síntese, ano base 2015 (Balanço Energético Nacional. EPE, 2016).

Apesar da utilização de fontes não renováveis (em sua maioria) para produção de energia, as termelétricas representam cerca de 34,4% do montante brasileiro, com destaque para o gás natural.

Participação das fontes na geração Termoelétrica em 2015 (excluindo importação).	
Biomassa (incl. bagaço de cana, lixo, lenha, etc.)	24,5%
Gás Natural	39,7%
Nuclear	7,4%
Derivados de Petróleo	18,3%
Carvão e Derivados	10,1%

Tabela 8- Participação das fontes na geração Termoelétrica. Relatório síntese, ano base 2015 (Balança Energética Nacional. EPE, 2016).

Na figura abaixo está quantitativamente esquematizado o processo de produção e utilização da energia elétrica ofertada internamente, destacando-se como principal fonte a energia e hidráulica e como principal consumidor o setor industrial.

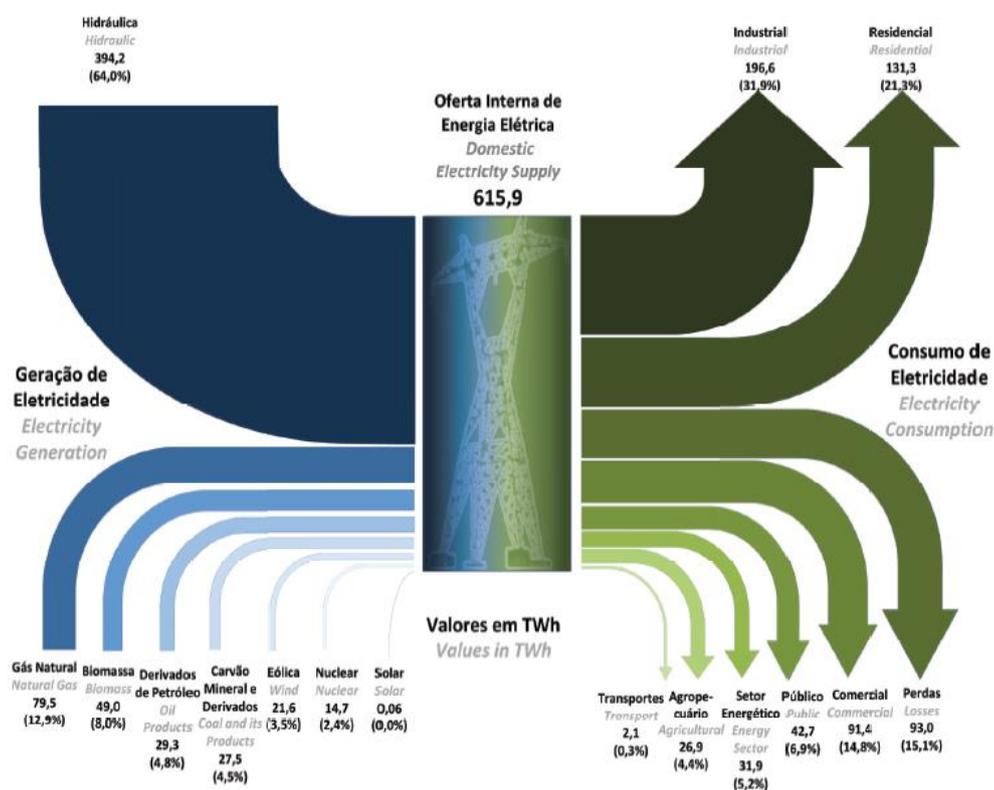


Figura 32- Fluxo de energia elétrica (incl. importação e autoprodução). Relatório síntese, ano base 2015 (Balança Energética Nacional. EPE, 2016).

No contexto regional, destacam-se como maiores produtoras as regiões sul e sudeste, que juntas são responsáveis pela produção de 57,6% do país, conforme o gráfico abaixo.

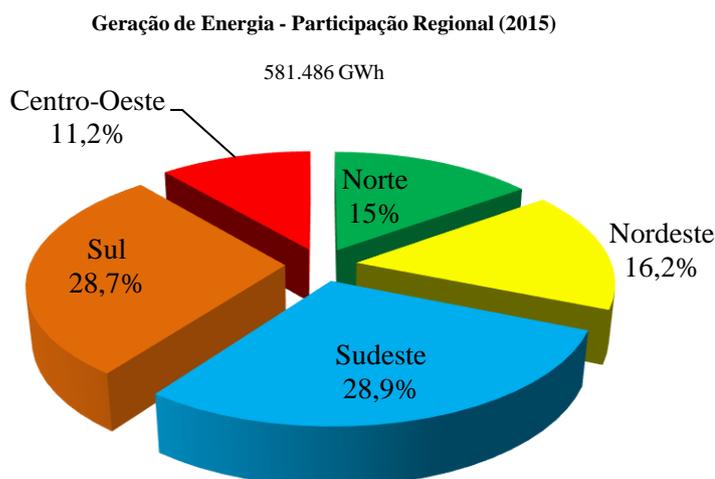


Figura 33- Participação regional na geração de energia elétrica, excluindo importação. Ano base 2015 (Adaptado de BEN; EPE, 2016).

Realizando a análise por sistemas (interligados e isolados), percebe-se que os estados do Amazonas, Roraima e Amapá não participam do Sistema Interligado Nacional (SIN), utilizando energia através de sistemas isolados. Nota-se também a grandeza do SIN Norte 2, integrado por estados das regiões norte, centro-oeste e sudeste, com o maior população e consumo na rede.

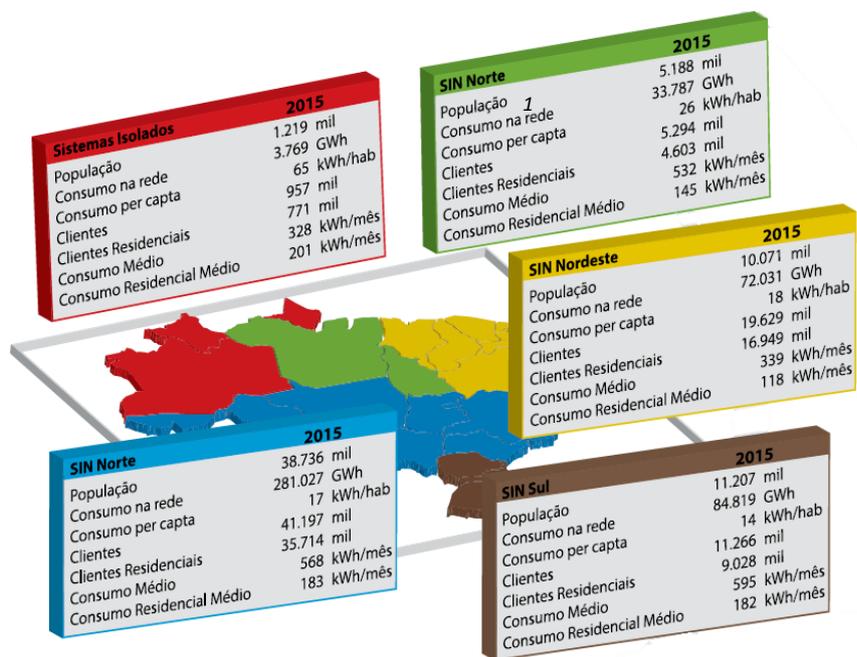


Figura 34- Brasil: subsistemas elétricos (BEN, EPE, 2016).

De acordo com a figura 33, percebe-se que a região do SIN Norte 2, pela demanda elevada, necessita de complementação, recebendo energia de outras regiões. Nota-se também a autossuficiência do Sistema Interligado da região Norte 1 (Pará e Tocantins), e ainda fornecendo energia para as regiões do SIN Nordeste e Norte 2.



Figura 35- Intercâmbio de Energia elétrica entre as regiões do SIN em 2015 (MW médio) (Fonte: ONS apud EPE, 2016).

Como a matriz energética nacional é predominantemente hidráulica, na qual, para sua produção, são necessárias grandes estruturas localizadas em ambientes específicos, o local de geração é disposto bem distante do local de demanda. Este fato gera a necessidade de redes de distribuição, feitas através das linhas de transmissão, elevando o custo da energia. Na tabela 9 estão presentes as extensões das linhas de transmissão, classificadas por tensão.

EXTENSÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO DO SIN (KM)				
	2011	2012	2013	2014
Total	103.362	106.479	116.768	125.640
230 kV	45.709	47.894	49.969	52.450
345 kV	10.062	10.224	10.272	10.303
440 kV	6.681	6.728	6.728	6.728
500 kV	35.003	35.726	39.123	40.659
600 kV CC	3.224	3.224	7.992	12.816
750 kV	2.683	2.683	2.683	2.683

Tabela 9- Extensão das linhas de transmissão Sistema Interligado Nacional – SIN, em km (Adaptado de BEN; EPE, 2016).

A grande distância entre os locais de produção e consumo geram perdas de energia através das linhas de transmissão. A tabela 10 mostra o elevado percentual de perda na rede, que poderia ser reduzido que se a produção fosse de fontes limpas localizadas no local de consumo, como no caso da energia solar fotovoltaica.

PERDAS TOTAIS NA REDE (%)					
	2011	2012	2013	2014	2015
Sist. Isolados	23,1	37,8	45,0	64,7	30,0
Sist. Interligado Nacional (SIN)	16,4	17,0	16,9	20,2	20,1
Norte	16,1	17,5	21,5	26,2	28,7
Nordeste	18,8	19,6	18,8	20,7	19,6
Sudeste/C. Oeste	16,9	17,2	16,6	20,3	20,2
Sul	12,9	13,7	13,9	16,8	16,0

Tabela 10- Perdas totais na rede (%). Fontes: ONS; Eletrobrás e Distribuidoras (Adaptado de BEN; EPE, 2016).

Como citado anteriormente, a grandeza das estruturas e distância para o consumidor elevam a tarifa da energia. A tabela 11 expõe as tarifas médias por região do Brasil, destacando-se o aumento médio de 42,61% entre os anos de 2014 e 2015.

TARIFAS MÉDIAS POR REGIÃO (R\$/MWh – SEM TRIBUTOS)						
	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015-2014)
Média Brasil	278,47	292,85	245,45	276,97	395	+ 42,61%
Norte	294,96	321,17	276,68	303,53	372,93	+ 22,86%
Nordeste	278,79	297,09	250,52	269,05	340	+ 26,37%
Sudeste	281,9	294,78	260,24	282,22	413,04	+ 46,35%
Sul	266,68	277,23	235,15	264,27	409,28	+ 54,87%
Centro-Oeste	274,37	290,41	257,74	273,63	398,07	+ 45,48%

Tabela 11- Tarifas médias por região (R\$/MWh). Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (Adaptado de BEN; EPE, 2016).

2.2.3 CONSUMO

Observando o gráfico Figura 33 (Participação regional na geração de energia elétrica) e a tabela 12 (Consumo por região geográfica, em GWh) e analisando regionalmente o cenário energético brasileiro, nota-se que na região sudeste está concentrado 28,9% da produção e 50,48% do consumo.

Com 9,1% de queda na produção de energia a partir das hidrelétricas, o consumo de energia sofreu retração (-2,3%) do período de 2014 para 2015. As únicas regiões em que não houve retração do consumo foram Norte e Centro-Oeste.

CONSUMO POR REGIÃO GEOGRÁFICA (GWh)							
	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/14)	Part. 2015
Brasil	433.016	448.178	463.134	474.823	465.203	-2,03%	100%
Norte	27.759	29.100	30.209	32.364	33.534	3,62%	7,21%
Nordeste	71.914	75.610	79.694	80.746	79.985	-0,94%	17,19%
Sudeste	230.668	235.259	240.084	242.513	234.812	-3,18%	50,48%
Sul	74.470	77.491	80.393	84.819	82.012	-3,31%	17,63%
C. Oeste	28.205	30.718	32.755	34.381	34.860	1,39%	7,49%

Tabela 12- Consumo por região geográfica, em GWh (Adaptado de BEN; EPE, 2016).

Separando o consumo por setor, as classes predominantes são a industrial (36,30%), residencial (28,22%) e comercial (19,54%), respectivamente. Com a conjuntura adversa do país, entre estes setores a única que houve crescimento no consumo foi a comercial, destacando a retração considerável de 5,72% da classe industrial no ano de 2015.

CONSUMO POR SETOR/CLASSE (GWh)							
	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/14)	Part. 2015
Brasil	433.016	448.178	463.134	474.823	465.203	-2,03%	100%
Residencial	111.971	117.646	124.908	132.302	131.295	-0,76%	28,22%
Industrial	183.576	183.475	184.685	179.106	168.854	-5,72%	36,30%
Comercial	73.482	79.226	83.704	89.840	90.893	1,17%	19,54%
Rural	21.027	22.952	23.455	25.671	25.900	0,89%	5,57%
Poder Público	13.222	14.077	14.653	15.354	15.186	-1,09%	3,26%
Iluminação Pública	12.478	12.916	13.512	14.043	15.334	9,19%	3,30%
Serviço Público	13.983	14.525	14.847	15.242	14.730	-3,36%	3,17%
Uso Próprio	3.227	3.360	3.371	3.265	3.011	-7,78%	0,65%

Tabela 13- Consumo por setor/classe, em GWh (Adaptado de BEN; EPE, 2016).

Com relação à quantidade de consumidores, a figura 36 (Brasil: regiões geográficas, totais 2015) e tabela 14 (Consumidores por região geográfica) expõem os números separados para cada região brasileira.

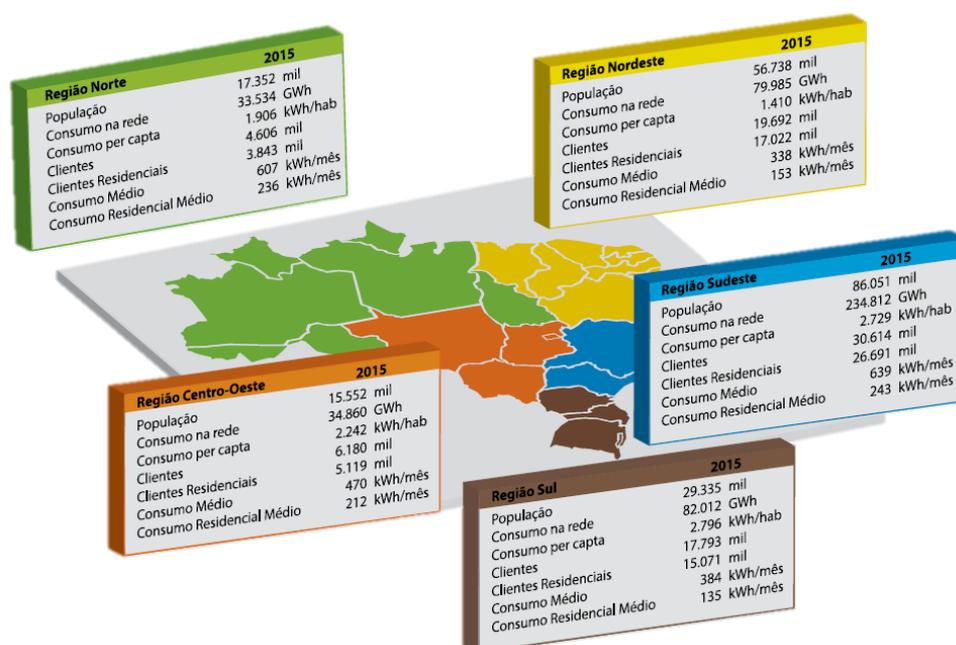


Figura 36- Brasil: regiões geográficas, totais 2015 (BEN. EPE, 2016).

CONSUMIDORES POR REGIÃO GEOGRÁFICA (MIL)							
(DEZEMBRO DE CADA ANO)							
	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/14)	Part. 2015
Brasil	70.323	72.377	74.814	77.171	78.885	2,22%	100%
Norte	4.074	4.285	4.498	4.412	4.606	4,40%	5,84%
Nordeste	18.318	18.971	19.625	19.150	19.692	2,83%	24,96%
Sudeste	32.001	32.646	33.646	30.197	30.614	1,38%	38,81%
Sul	10.612	10.920	11.266	17.411	17.793	2,19%	22,56%
C. Oeste	5.317	5.555	5.779	6.002	6.180	2,97%	7,83%

Tabela 14- Consumidores por região geográfica (mil) (Adaptado de BEN; EPE, 2016).

2.2.4 ENERGIA SOLAR ASPECTOS GERAIS E DETALHES OPERACIONAIS

Questões como aquecimento global, uso consciente dos recursos naturais (renováveis e não renováveis) e aumento da população mundial, fizeram surgir preocupações sobre a geração energética não degradável do planeta. Neste contexto se insere a energia solar, fonte considerada humanamente inesgotável, que utiliza a radiação solar para geração de energia elétrica. O grande desafio é encontrar formas cada vez mais eficientes para utilização deste recurso (DOS SANTOS, 2009).

a) RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é constituída por fótons com diversos comprimentos de onda distribuídos de forma específica denominada de espectro. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em associação com o Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) realizaram um projeto denominado de SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), o qual criou um extenso banco de dados para a área de energia solar e eólica. Através do SWERA foi possível a realização do Atlas Brasileiro de Energia Solar, com dados da irradiação na superfície do território brasileiro (MARTINS, PEREIRA, *et al.*, 2008 *apud* NASCIMENTO, 2013).

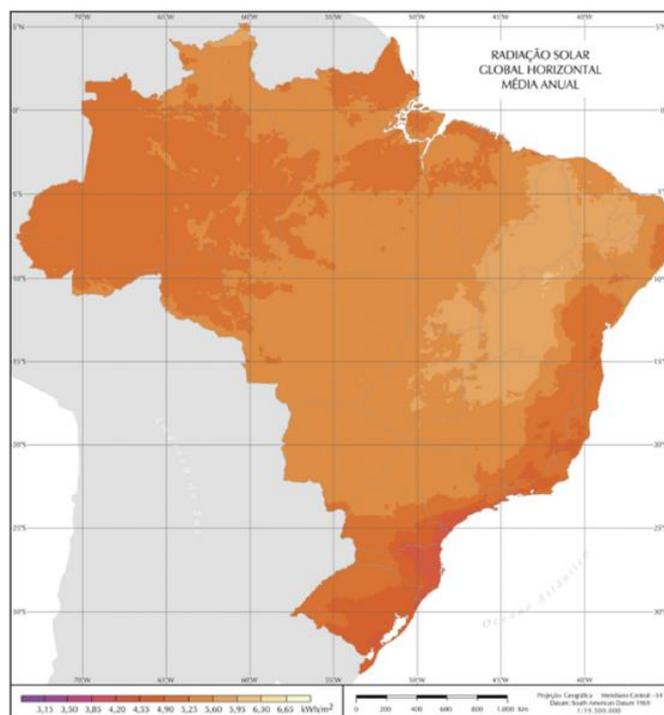


Figura 37- Mapa de Radiação solar no plano inclinado média anual (PEREIRA et al., 2006).

b) ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O sistema de geração da energia fotovoltaica ocorre por meio do efeito fotovoltaico, isto é, processo pelo qual uma célula fotovoltaica converte luz solar em eletricidade. O processo ocorre com os fótons (partículas de energia solar) transmitindo energia por meio de agitação para os elétrons da estrutura de material semicondutor (geralmente Silício), os quais, ao receberem essa energia se tornam condutores (FRAIDENRAICH e LYRA, 1995 apud DOS SANTOS, 2009).

É um sistema muito importante e promissor, pois é simples, com ausência de peças móveis, apresenta característica modular, rápida instalação, baixa necessidade de manutenção e alto nível de confiabilidade, silencioso e não poluente, e sem geração de resíduos (RÜTHER, 2004 apud NASCIMENTO, 2013).

Como a unidade dos módulos, placas e painéis FV, as células-fotovoltaicas correspondem a pequenas lâminas de blocos sólidos, ou derivados de processos de plasma, sobre superfícies rígidas ou flexíveis, e são constituídas por materiais semicondutores, os quais, além do Silício (Si), também são utilizados Telureto de Cádmio (CdTe), Disseleneto de Cobre, Gálio e Índio (CIGS), e outros semicondutores compostos, mesmo que em menor escala (RÜTHER em MONTENEGRO, 2000; PARIDA et al., 2011).

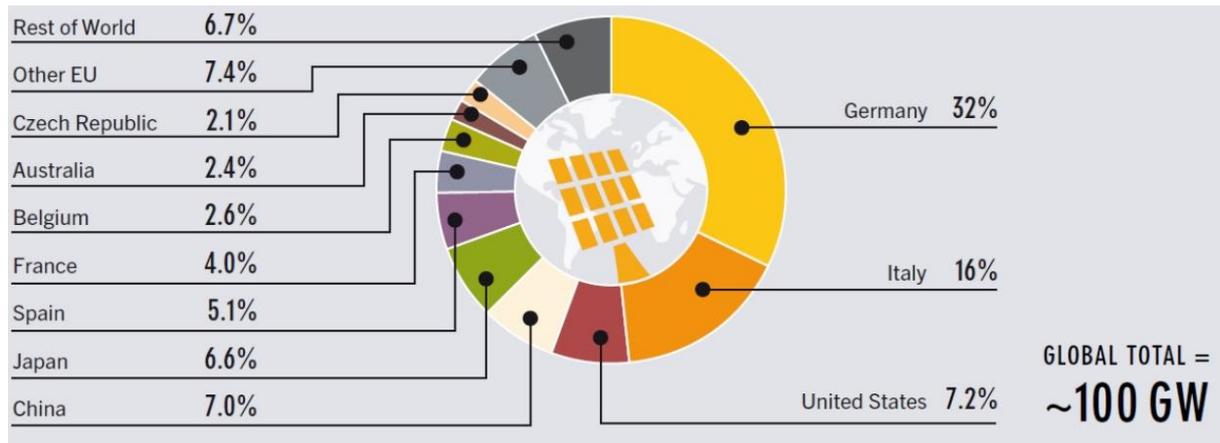


Figura 38- Capacidade fotovoltaica mundial no ano de 2012 (KRENZ et al., 2014).

c) TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

A classificação das tecnologias FV pode ser realizada de acordo com o material utilizado, da seguinte forma:

c1) Silício na forma monocristalina (c-Si).

A partir da forma monocristalina, originam-se células arredondadas, rígidas e quebradiças, geralmente na cor preta. Comercialmente, são os tipos de células de maior eficiência, entretanto, devido ao seu complexo e rigoroso processo de fabricação, apresenta custo mais elevado que outros tipos de células (VILLALVA; GAZOLI, 2012 apud DOS SANTOS, 2009). De acordo RÜTHER (2004), a eficiência desta tecnologia é em torno de 15% (DOS SANTOS, 2009).

c2) Silício na forma policristalina (p-Si).

As células de silício na forma policristalina advêm da formação de mais de um cristal, estando sujeita a mais imperfeições. No mercado, geralmente nos tons escuros de azul, esse tipo apresenta menor custo, devido ao fato de ser processo de fabricação ser menos rigoroso, todavia, sua eficiência é menor que a do tipo anterior (DOS SANTOS, 2009; CARVALHO, 2013).

c3) Silício na forma amorfa (a-Si).

Os módulos de silício amorfo correspondem a filmes finos, os quais podem ser dispostos sobre superfícies curvas. São disponibilizados no mercado em cores sólidas, variando entre azul escuro e preto, para não elevar a perda de eficiência do sistema. Realizando uma comparação com os módulos cristalinos, os filmes finos de a-Si apresentam menores eficiência (variando de 5 a 9%) e custo (THOMAS e GRAINER, 1999 apud CARVALHO, 2013).



a) Monocristalino



b) Policristalino



c) Amorfo

Figura 39- Tipos mais comuns de módulos fotovoltaicos (ABINEE, 2012 apud CARVALHO, 2013).

Mas além do silício, também são utilizados outros materiais para produção de células fotovoltaicas, como: Teleureto de Cádmio (CdTe), um dos mais mais utilizados para substituição do a-Si, com eficiência na faixa de 7 a 10%; Disseleneto de Cobre Gálio e Índio (CGIS ou CuInGaSe_2), material com baixo custo de produção e boa eficiência, mas de pouca disponibilidade, além da toxicidade de seus elementos; células orgânicas (dye-cells), de alta disponibilidade, baixo custo e nível de poluição, mas que ainda apresentam baixa expectativa de vida útil (RÜTHER, 2004 apud DOS SANTOS, 2009; PARIDA ET AL., 2011 NASCIMENTO, 2013).

Além do material componente, outro fator determinante para a eficiência do módulo é a relação entre sua Potência Nominal e Área. Isto é, quando dois módulos distintos apresentam mesma potência, o que possuir menor área será o de maior eficiência. De acordo com a NBR 10899:2006 (Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia), a eficiência de conversão FV é dada pela razão entre a Potência Máxima fornecida pela célula ou módulo FV, em condições padrão, e o produto da Área da célula ou módulo pela irradiância, também em condições padrão, incidente sobre esta área. A Tabela 15 apresenta equivalência de área.

EQUIVALÊNCIA DE ÁREA PARA SISTEMA DE 1kWp		
TECNOLOGIA	ÁREA REQUERIDA	
Silício monocristalino (c-Si) Células de alto desempenho	7m ² a 9m ² 5,5m ² - 7m ²	
Silício policristalino (p-Si)	7,5m ² - 10m ²	
Disseleneto de Cobre Gálio e Índio (CGIS)	9m ² - 11m ²	
Teleureto de Cádmio (CdTe)	9m ² - 11m ²	
Silício amorfo (a-Si)	14m ² - 20m ²	

Tabela 15- Tecnologias FV e áreas correspondentes para um sistema de 1kWp (Adaptado de Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie – DGS, 2008 apud NASCIMENTO, 2013).

A figura 40 representa a eficiência de células e módulos FV.

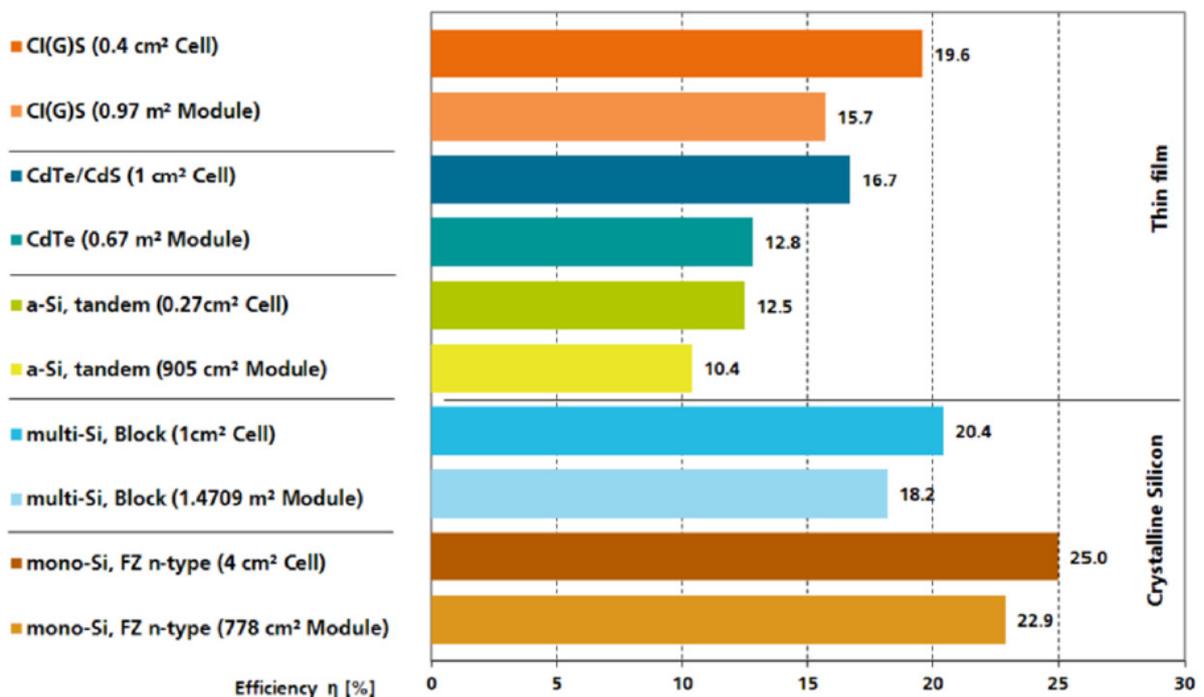


Figura 40- Eficiência de células e módulos FV produzidos em laboratório (Fraunhofer, 2012).

d) INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FV

Os sistemas fotovoltaicos são instalados de duas maneiras:

d₁) Isolados: utilizam um banco de baterias para o armazenamento da energia, são geralmente utilizados em locais afastados e sem atendimento da rede elétrica pública. Este sistema é principalmente utilizado para iluminação, refrigeração (alimentos e medicamentos) e bombeamento de água nessas áreas remotas (ZAHEDI, 2006 apud DOS SANTOS, 2009).

d₂) Conectados à rede elétrica: sem a necessidade de baterias de armazenamento, pois a energia gerada pode ser integralmente lançada na rede ou somente o excedente, fazendo com que haja a possibilidade de a edificação suprir sua demanda energética e ainda gerar energia para outros usuários da rede.

Nos sistemas conectados à rede há, também, a possibilidade de criação de centrais fotovoltaicas para geração de energia elétrica, entretanto a necessidade de redes de transmissão e distribuição (T&D) é uma desvantagem. Por este motivo, a instalação de sistemas FV integrados à edificação é de grande viabilidade, pois a geração é feita no próprio local de consumo, extinguindo custos com sistemas de T&D (ZAHEDI, 2006; RÜTHER, 2004 apud DOS SANTOS, 2009).

Para estes sistemas há a necessidade de aferição da quantidade de energia gerada e lançada na rede, para que haja o controle tanto por parte do produtor/consumidor quanto da concessionária de energia (DOS SANTOS, 2009). Ainda segundo DOS SANTOS, THOMAS e GRAINER (1999) apresentam três possíveis modos de medição:

- a. “Um medidor unidirecional: onde há só um medidor e um sentido único para a energia, assim só há medição da entrada de energia para a edificação quando o sistema fotovoltaico não é suficiente para o abastecimento total. Não há medição nenhuma da geração fotovoltaica, tampouco da energia que eventualmente é injetada na rede.
- b. Dois medidores independentes: existem dois medidores, um para entrada da energia da rede elétrica convencional na edificação, e outro para saída da geração fotovoltaica para a rede. Neste sistema podem ocorrer ainda duas situações: ou toda energia gerada é injetada na rede, e toda energia consumida vem da rede; ou a energia gerada após passar pelo seu medidor volta para consumo da residência (somente o excedente vai para a rede), passando então pelo medidor de consumo de energia da rede.

- c. Um medidor bidirecional: utilizado nos países onde o preço de compra e de geração é o mesmo, assim o mesmo medidor controla a saída da geração excedente e a entrada de energia nos momentos sem geração fotovoltaica”.

O sistema com dois medidores independentes é o mais utilizado em países onde há políticas de incentivo, nos quais o preço da energia produzida pelo sistema FV é superior ao consumido da rede, sendo um atrativo para investidores, além da própria economia no consumo.

e) DESEMPENHO DOS SISTEMAS FV

O rendimento do sistema FV pode ser influenciado por uma série de quesitos. A irradiação é um dos principais, pois é fator influente direto do potencial de geração, o qual é afetado pela localização geográfica, inclinação e orientação dos módulos.

A temperatura é outro quesito importante, pois a tensão dos módulos FV é inversamente proporcional à temperatura, por isso deve-se ter cautela para a instalação de sistemas em ambientes de climas quentes e não ventilados. Além disso, temperaturas mais altas podem reduzir o a vida útil do sistema, pois aumentam o nível de degradação dos módulos. A umidade pode influenciar tanto de forma benéfica (ajudando na difusão da irradiação) quanto prejudicial (propagação dentro do encapsulamento das células FV), sendo este último o mais provável. Além dos fatores já citados, o acúmulo de sujeira nos painéis afeta diretamente a performance do sistema, pois afetam diretamente o nível de incidência solar (NASCIMENTO, 2013).

Com relação à tecnologia utilizada, os dois principais influenciadores do desempenho do sistema FV são a resistência dos condutores e o descasamento entre painéis.

f) GARANTIA DOS FABRICANTES/ DEGRADAÇÃO DOS MÓDULOS FV

Usualmente, os fabricantes de módulos FV fornecem garantia sobre trincas e rachaduras nos vidros, descolamento da caixa de conexão, de laminação das camadas, encapsulantes, potência, entre outros. A respeito da potência do módulo, os fabricantes garantem, geralmente, redução máxima de 10% da Potência Nominal nos primeiros 10 anos de utilização e mais 10% para os próximos 10 a 20 anos. Dessa forma, pode-se deduzir que a degradação dos módulos FV, em relação à Potência Nominal, fica em torno de 0,7 a 1% ao ano. Com relação ao tempo de garantia fornecida, a variação habitual é de 5 a 10 anos (NASCIMENTO, 2013).

g) COMPONENTES DE UM SISTEMA FV

g1) Condutores elétricos

Na confiabilidade do sistema FV, os condutores elétricos representam importante função. É a parte que está exposta às intempéries, necessitando de proteção (inclusive contra raios UV), além da necessidade de isolamento, para que não ocorra fuga de corrente elétrica. Nas instalações de sistemas fotovoltaicos utiliza-se condutores de cobre, material que a 20 °C apresenta tipicamente uma resistividade $\rho_{cu} = 0,01724 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ e coeficiente de variação com a temperatura de $\alpha_{cu} = 0,0039/^\circ\text{C}$. Os parâmetros reais a serem aplicados para a fiação utilizada devem ser obtidos na documentação do respectivo fabricante. Recomenda-se o dimensionamento de cabos da instalação de acordo com a temperatura efetiva de trabalho e o método escolhido de proteção dos condutores utilizando-se o fator de correção de temperatura contido na NBR5410.

g2) Fusíveis

Os fusíveis e disjuntores são os responsáveis pela proteção do circuito elétrico do sistema FV, para garantir a integridade dos condutores e módulos FV. Deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo. Os fusíveis devem ser colocados na saída de cada série tanto no polo positivo quanto no pólo negativo. O fusível deve ser para corrente contínua, de preferência do tipo gPV (conforme IEC 60269-6), que é apropriado para operação em sistemas fotovoltaicos pois apresenta alta durabilidade.

g3) Disjuntores (CC e CA)

Necessários para proteção dos cabos, equipamentos e demais componentes, quando há um evento de corrente elevada decorrente de um curto-circuito no sistema, sobrecarga ou falha no aterramento. Recomenda-se instalar dentro de uma caixa ou armário com fixação por parafusos ou trilho DIN.

As conexões desses componentes com os cabos devem ser feitas cuidadosamente e de forma segura, utilizando ferramentas apropriadas a fim de evitar riscos de curto-circuito, mau contato e choques acidentais.

g4) Aterramento do Sistema

A norma ABNT NBR 5410:2004 trata do aterramento de sistemas elétricos de baixa tensão. O aterramento é a ligação intencional de estruturas ou instalações com a terra, visando garantir o funcionamento correto da instalação e, principalmente, proporcionar um caminho preferencial às correntes elétricas indesejáveis de surto, falta ou fuga, de forma a evitar riscos para as pessoas e os equipamentos.

g5) Dispositivo de proteção contra surtos –DPS

Desvia a alta corrente proveniente de um surto (descarga atmosférica, por exemplo) para a terra e limitar as sobretensões transientes.

g6) Inversores

Inversos é um dispositivo eletrônico que a partir de uma fonte em corrente continua fornece energia em corrente alternada, essa fonte pode ser, por exemplo, módulos fotovoltaicos. A saída deve ter amplitude e frequência às cargas a serem atendidas, quando conectados a rede devem ter tensão sincronizada com a rede.

g7) Sistema de Aquisição de dados

A maioria dos inversores possui sistema de aquisição de dados integrados, facilitado assim a aquisição de dados. Grandezas meteorológicas como irradiância no plano horizontal ou no plano de instalação do gerador fotovoltaico, e as temperaturas, ambiente, da superfície traseira do módulo fotovoltaico e do banco de baterias são normalmente medidas pelo sistema de aquisição e armazenamento de dados.

h) SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERLIGADOS À REDE

h1) Origem

Os sistemas fotovoltaicos surgiram com a finalidade de levar energia elétrica a locais de difícil acesso a rede elétrica. Os primeiros sistemas fotovoltaicos eram do tipo isolado da rede elétrica, onde a energia gerada pelas placas solares alimentava diretamente um banco de baterias, que por sua vez, alimentam os aparelhos consumidores de energia elétrica. Em meados dos anos 90, começou o uso de inversores (aparelhos que convertem a corrente contínua para corrente alternada) ligando diretamente as placas solares (painéis solares) à rede pública de energia elétrica, nascia assim o conceito de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (*on grid*).

Os primeiros sistemas fotovoltaicos conectados à rede foram instalados na Alemanha, no começo dos anos 90.

Naquele momento eram exigidos diversos requisitos de segurança para a operação das pequenas usinas movidas a energia solar, e que compartilhariam a rede de distribuição de eletricidade sob os cuidados das concessionárias locais.

As principais exigências era que os inversores tivessem a capacidade de realizar o “sincronismo”, ou seja, gerar eletronicamente a corrente alternada de forma similar a um gerador eletromagnético comum e que tivessem a capacidade de se desligar e religar automaticamente, caso fosse necessário fazer manutenções nas linhas elétricas (como nos cabos de força das redes, por exemplo). Atualmente novas exigências foram estipuladas enquadrando a qualidade de energia.

Assim obtivemos os inversores interativos conectados à rede elétrica atual, que são equipamentos com tecnologia mais avançada, capazes de gerenciar automaticamente o sistema fotovoltaico, do qual são o componente principal. Com a possibilidade de se injetar diretamente a energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos (painel solar) na rede elétrica, pôde-se abrir mão do armazenamento de energia – que é feito através das baterias em um sistema fotovoltaico *off-grid* (isolado da rede). (SOUZA,2017)

h2) Funcionamento

No Brasil o *on-grid photovoltaic system* é conhecido tecnicamente como Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede ou comumente chamado sistema *on-grid*. A figura 41 representa o sistema conectado a rede.

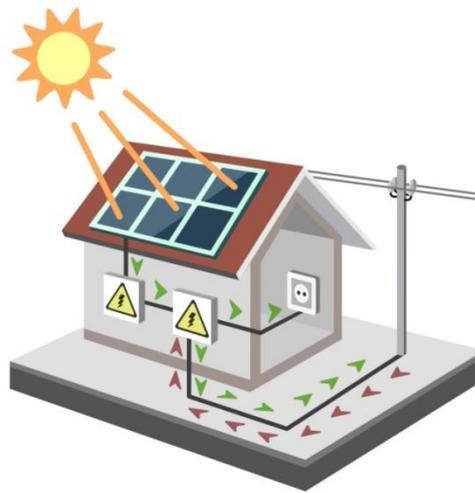


Figura 41 - Representação do fluxo de energia em um sistema fotovoltaico On-Grid (Souza, 2017).

Após a instalação e funcionamento as placas solares recebem a energia solar, toda a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos (placas solares) é transformada pelo inversor *grid-tied* (figura 42) e injetada no quadro geral da unidade consumidora (sua casa, por exemplo). Os aparelhos ligados à rede elétrica se alimentarão dessa energia e, caso a potência gerada no momento seja superior à potência dos aparelhos que estejam ligados ao mesmo tempo, uma parte da energia (ou o excedente da energia) será exportada para a rede, passando pelo medidor de energia da distribuidora (o relógio de luz), que computará essa energia como energia elétrica injetada. O medidor deve ter essa capacidade de mensurar a energia elétrica fluindo nos dois sentidos (entrada e saída) e por isso deve ser do tipo bidirecional. A partir daí a conta de luz chega com dois valores especificando a energia consumida e a energia injetada. O valor da energia injetada é utilizado como crédito energético, e serve para abater do valor da energia consumida(SOUZA,2017).

h3) Vantagens do Sistema *on-grid*

Geração de energia limpa e sustentável;

A não utilização de baterias (também uma desvantagem);

Quando a quantidade de crédito energético gerado for maior que o valor da energia consumida, esses créditos podem ser utilizados em outras unidades consumidoras que estejam registradas para a mesma pessoa (física ou jurídica) que possui o sistema *on-grid*;

O crédito energético poder ser armazenado para ser utilizado no futuro, quando a geração solar for menor, e a quantidade de crédito gerado for inferior à quantidade de energia consumida o que se torna uma grande vantagem considerando os períodos de inverno, chuvosos e nublados em que a insolação é menor e por isso a geração solar é bem baixa (SOUZA,2017).

h4) Desvantagens do Sistema *on-grid*

O custo inicial da instalação;

Não há armazenamento de energia (não utilização de baterias), nos casos de falta de energia e apagões a unidade consumidora (o imóvel) mesmo possuindo um gerador solar fotovoltaico *on-grid* ficará sem energia (SOUZA,2017).

h5) Desvantagens do Sistema *Off-grid*

A durabilidade das baterias, tempo inferior a 7 anos e o custo elevado das mesmas;

Custo inicial de instalação, pois quanto maior é a potência do sistema fotovoltaico, mais baterias são necessárias(SOUZA,2017).



Figura 42- Inversores conectados à rede (Inversor Grid-Tied).

h6) Benefícios

Os benefícios atribuídos aos sistemas FV podem ser analisados pela ótica de diferentes setores. Para o setor energético, por exemplo, o sistema proporciona diminuição das perdas por transmissão e distribuição (T&D) da energia, bem como redução da necessidade de investimento em linhas de transmissão e distribuição; diminuição da solicitação da rede e demanda de pico; eleva a vida útil dos outros elementos da rede, por diminuir a exigência destes; entre outros.

Para o setor ambiental, o benefício ocorre pelo fato de se utilizar uma matriz energética limpa e sem emissão de gases poluentes, apesar de no processo de fabricação e disposição do sistema ainda serem produzidos gases, há busca por tecnologias que cessem estes poluentes (TAKENAKA, 2010). Para o setor socioeconômico, o benefício ocorre através da redução da importação de combustíveis fósseis, bem como redução de custos com seu transporte, produção da própria energia, entre outros (IEAPVPS, 2008).

O tempo de recuperação do investimento (*payback*) é outro fator a ser destacado. De acordo com a PNE 2030 (2008), o *payback* energético varia de 2 a 5 anos (TAKENAKA, 2010).

h7) Legislação

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a Resolução Normativa nº 482, a qual determina “condições gerais para o a cesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências”, a qual ficou conhecida como lei de incentivo à energia solar.

De acordo com a RN 482/2012, quem pode fazer parte do sistema de "créditos de energia solar" é o consumidor cativo, isto é, quem consome energia elétrica fornecida diretamente pela distribuidora (forma de consumo predominante no Brasil). Ainda nesta resolução é estabelecida a potência máxima de instalação (5.000kWp), equivalente a aproximadamente 35.000 m² de painéis solares.

A respeito da tributação, o Conselho Nacional da Política Fazendária (CONFAZ), em 2015, deixou a cargo de cada estado a decisão de cobrança ou não do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Até o momento, 19 estados e Distrito Federal já optaram pela isenção do ICMS sobre a energia solar.

Em 2015, a Presidência da República, através da Lei 13.169, em seu Art. 8º intitulou que “Ficam reduzidas a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social - COFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora no mesmo mês, em meses anteriores ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica para micro geração e mini geração distribuída, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.”

h8) Programas de incentivo

A nível mundial, países com baixa disponibilidade de recursos naturais para a produção de energia necessária para seu consumo, além da necessidade de atender os padrões de sustentabilidade, passaram a investir na energia solar fotovoltaica. Para isto, foram criados programas de incentivo para que houvesse a disseminação do uso da energia FV, bem como estudos em busca de novas tecnologias, tanto para redução dos custos quanto para maior sustentabilidade. Países como Japão, Austrália, Alemanha, Canadá e Suécia apresentam grande investimento no setor energético fotovoltaico.

No Brasil, uma das primeiras iniciativas que apresentou a utilização da energia solar fotovoltaica foi o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios-PRODEEM, sendo considerado um dos maiores programas de eletrificação rural utilizando sistemas FV. Na atualidade, programas como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica-PROINFA, Programa de Incentivo à Geração Distribuída-PDG, Programa Luz para Todos, além da cobrança de incentivos fiscais, são exemplos de políticas que vêm sendo implementadas para que a participação da energia solar FV seja impulsionada na atual matriz energética brasileira (Takenaka, 2010). Além da própria RN 482/2012 - ANEEL, com seu sistema de "créditos de energia solar", a qual não deixa de ser um programa de incentivo.

2.3 SUSTENTABILIDADE

2.3.1 CONCEITO

O termo sustentabilidade é utilizado para definir ações relacionadas ao desenvolvimento social, econômico e ambiental com a utilização inteligente de recursos naturais sem a destruição do meio ambiente. O termo “sustentável” origina-se do *latim sustentare* (defender; sustentar, conservar, favorecer). O conceito mais utilizado vem de Brundtland (1987) -Relatório Brundtland na publicação do documento *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum) que conceitua desenvolvimento sustentável como: “O desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade de gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (DIAS, 2015).

2.3.2 HISTÓRICO

A questão ambiental começou a ser abordada por volta de 1950 com alguns acontecimentos envolvendo problemas ambientais: Em Nagata-Japão a poluição em uma baía por mercúrio e o fenômeno ocorrido nos Estados Unidos denominado "Primavera Silenciosa" título do livro de Rachel Carson, onde naquele ano, na primavera, não nasceram flores em diversas cidades americanas tal fenômeno foi atribuído ao uso de determinados inseticidas e pesticidas nessas cidades. Nessa época dava-se início ao boom do consumo americano chamado de "*american way of life*". Paralelo a isso quase uma década depois começava a surgir o movimento chamado contracultura que entre as ações de sua comunidade trazia o cultivo de alimentos orgânicos. Dessa forma nos anos 70 começou a ocorrer uma mudança de pensamento e foco no crescimento populacional e na produção onde a questão ambiental passou a ser uma preocupação da sociedade. Neste período aconteceram convenções muito importantes: em Roma, *The limits of growth* (Os limites do crescimento) tratou dos limites do crescimento da população mundial, da produção agrícola, da poluição, conseqüentemente, e da exaustão dos recursos naturais. Em 1972, a ONU realiza em Estocolmo a *Conference on the Human Environment* (Conferência sobre o meio ambiente humano). Na outra, da qual o Brasil participou, houve um consenso de que a crise ambiental estava ligada ao crescimento de tecnologias, à implementação de tecnologias que conduziam a uma má produção tecnológica e tecnologias de produção erradas. Teria que haver, de qualquer maneira, uma restrição não só populacional, mas também em termos de como o planeta poderia produzir melhor e como essa produção seria controlada. (CARVALHO, 2013)

Na década de 1980 o livro *Ecodevelopment* (Ecodesenvolvimento) de Ignac Sachs propõe o desenvolvimento baseado em três pilares: eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica. Em 1983, com a criação da Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento-WCED adota-se formalmente o conceito de desenvolvimento sustentável. Em 1987, o WCED publica um relatório *Our common future* (Nosso futuro comum) também conhecido como relatório Brundtland que conclui que o uso excessivo dos recursos naturais é um processo que vai provocar o colapso dos ecossistemas, e propõe que a busca de soluções seja tarefa comum a toda humanidade (MOTTA E AGUILAR, 2009).

No início da década de 1990, houve um grande avanço com as regulamentações ambientais, as políticas de gestão ambiental, as certificações e normatizações – as ISO. Além disso, o surgimento do conceito – ecodesign – que redefiniu toda a cadeia produtiva comprovando que a sustentabilidade está intimamente ligada à economia, à preservação e a justiça social. No Brasil atualmente a idéia de sustentabilidade, é sustentar a indústria, com tudo que há de mais moderno em termos sociais, ambientais e econômicos. Houve mudança nas formas produtivas e incorporação de procedimentos ambientais até então tratados como externalidades. As indústrias têm se tornado responsáveis pelo seu lixo, pela água que jogam fora e ainda deveriam ser responsáveis pelo produto que vendem e pelo que acontece com ele depois. Recentemente houve um grande avanço: a Lei Nacional dos Resíduos Sólidos, em que teoricamente a indústria é responsável pelos resíduos(CARVALHO,2013).

Em 1992 é realizada no Rio de Janeiro pela ONU a Cúpula da Terra, 2a conferência ambiental que fica conhecida como Eco'92 ou Rio'92, reunindo chefes de estados. Visando a preservação dos recursos do planeta e a aproximação entre países desenvolvidos que defendiam o direito a um ambiente saudável e os países em desenvolvimento que defendiam a necessidade de se desenvolverem, foram discutidos diversos planos de ações voltados ao desenvolvimento sustentável do planeta. Essa conferência resultou na Agenda 21, com recomendações de estratégias de conservação do planeta e metas de exploração sustentável dos recursos naturais que não impeçam o desenvolvimento de nenhum país. A Agenda 21 estabeleceu a importância de cada país se comprometer, global e localmente, na reflexão sobre a forma pela qual governos, empresas, organizações não governamentais e todos os setores da sociedade poderiam cooperar no estudo de soluções para um desenvolvimento sustentável.

O Protocolo de Kyoto, assinado em 1997, originou-se diante da consciência do efeito estufa e do temor de sua consequência, o aquecimento global. O protocolo previa que os 35 países industrializados signatários reduzissem em 5% suas emissões de gases em relação ao nível de 1990. Em 2007 o Painel de Mudanças Climáticas da ONU, IPCC, ganha o Nobel da Paz, devido aos seus estudos. O prêmio foi dividido com o americano com Al Gore, pelo seu papel na divulgação da situação (MOTTA E AGUILAR, 2009).

2.3.3 A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O desenvolvimento sustentável abrange todos os setores da sociedade. Na construção civil a sustentabilidade vem obtendo cada vez mais importância neste setor. O Conselho Internacional da Construção-CIB considera a indústria da construção como o setor que mais utiliza energia e consome recursos naturais sendo responsável por impactos ambientais relevantes. A Construção Civil está entre as atividades humanas que mais causam impactos ambientais no mundo. Os dados da Associação Nacional de Arquitetura Bioecológica- ANAB consideram que cerca de 50% dos recursos extraídos da natureza são destinados a este setor. A Construção Civil consome cerca de 40% dos recursos naturais e energia produzida, 34% da água, 55% de madeira não certificada, além de responder pela produção de 67% dos resíduos sólidos urbanos (CHAVES, 2014).

(MOTTA E AGUILAR, 2009) Historicamente algumas ações vêm ao longo de décadas alertando e mudando o cenário das construções:

a) 1990: O Primeiro Sistema de Avaliação Ambiental de Construções do Mundo, o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method- BREEAM* é lançado na Inglaterra. O sistema certifica a construção com um selo “verde”.

No mesmo ano o arquiteto Norman Foster escreve o artigo *Architecture and Sustainability* propondo uma análise crítica do impacto ambiental das construções, discute o papel da arquitetura e engenharia no processo e conclui que antes de buscar as respostas certas devemos fazer as perguntas certas: “Porque ocupar novas áreas, quando podemos recuperar áreas? Porque demolir edifícios que poderiam ser utilizados para novos usos? Porque utilizar intensa iluminação artificial onde podemos aproveitar a luz do dia? Porque utilizar condicionamento de ar onde nós podemos simplesmente abrir uma janela?”.

b) 1991: Publicação do livro *The Gaia Atlas of the Cities: New Direction for Sustainable Urban Living* de Herbert Girardet, que aborda o saneamento das cidades na busca da sustentabilidade.

c) 1994: Lançamento do livro *Regenerative Design for a Sustainable Development* de John Tillman Lyle, propondo novas formas de uso da energia, da água, da terra e das edificações.

d) 1996: Conferência da ONU Habitat II, na Turquia. Discussão dos destinos das cidades e propostas para a sustentabilidade nos assentamentos humanos.

e) 1997: Lançamento do livro *Cities for Small Planet* de Richard Rogers, onde estuda formas das cidades do futuro e como recompor a harmonia entre homem e natureza.

f) 1999: O *International Council for Research and Innovation Building and Construction-CIB* finaliza a Agenda 21 para construção sustentável.

United States Green Building Council-USBCG criação do Selo de Certificação *Leadership in Energy and Environmental Design-LEED*. O programa traz incentivos financeiros e econômicos para o mercado de construções verdes do EUA.

O Conselho Europeu de Arquitetura produz o livro *Green Vitruvius: Principles and Practices of Sustainable Architectural Design*. Nele é retomada e reforçada a importância de as construções considerarem as condições climáticas locais. São expostas estratégias de sustentabilidade para construção, e o papel benéfico da relação vegetação e ambiente construído.

g) 2000: O CIB cria a Agenda Setorial para Construção Sustentável para países em desenvolvimento. É criado um grupo global para cooperação e trocas de pesquisas em construção sustentável. O objetivo da agenda é diminuir a diferença entre países desenvolvidos e em desenvolvimento na melhora do desempenho do ambiente construído.

h) 2001: Conclusão da obra de referência em construções sustentáveis, o *Beddington Zero Energy Development-BedZED*, na Inglaterra. É um condomínio de 100 casas e escritórios que consome 10% da energia de uma urbanização convencional.

i) 2002: O CIB o finaliza a Agenda 21 para construção sustentável para países em desenvolvimento.

A França lança seu programa de certificação de construções ambientais, o *HauteQualité Environnementale*-HQE. O Japão também lança seu programa de certificação, o *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*-CASBEE.

j) 2004: Austrália finaliza seu sistema de certificação de construções ambientais, o *National Australian Built Environment Rating System*-NABERS.

k) 2006: O arquiteto Norman Foster projeta a Cidade Carbono Zero ou *Masdar City*. O projeto é um complexo de edificações residenciais, comerciais, culturais e de serviço, em uma área de 6 milhões de m², sendo construída em Abu Dhabi. Está sendo considerada a primeira cidade sustentável do mundo. A *Masdar City* não vai ter carro, não vai utilizar energia proveniente do petróleo e vai reaproveitar todos resíduos gerados na própria cidade.

l) 2007: No Brasil a criação do *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil), que tem como objetivo ser referência na avaliação e certificação de construções sustentáveis no Brasil, através da regionalização da ferramenta de avaliação LEED.

Criação do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável-CBCS, cujo objetivo é implementar conceitos e práticas sustentáveis na construção civil. O CBCS não pretende certificar edificações.

Lançamento do selo Ecológico para produtos e tecnologias sustentáveis IDHEA - Falcão Bauer.

m) 2008: Lançamento do selo brasileiro de certificação ambiental Alta Qualidade Ambiental-AQUA, baseado na certificação francesa HQE.

Nesse contexto de sustentabilidade o acadêmico John Elkington criou o termo "3BL" *Triple Bottom Line* considerado o Tripé da Sustentabilidade que se dividem nos âmbitos sociais, ambientais e econômicos. Atualmente considera-se que uma construção é sustentável quando ela engloba esses três aspectos (CHAVES, 2014). A figura 43 ilustra o *Triple Bottom Line* "3BL".

Não há como se falar em sustentabilidade sem a observância desses 3 aspectos que tem como finalidade uma sociedade mais sustentável com a redução do impacto ambiental e mais saudável com melhores condições de vida e de trabalho voltadas para o bem-estar e a saúde. A figura 43 representa o *Triple Bottom Line*.

TRIPLE BOTTOM LINE



Figura 43 - Representação Triple Bottom Line (Autor, 2018).

- a. Economicamente viável** – Reduz custos de operação; – Eleva o valor do ativo imobiliário e os lucros; – Aumenta a produtividade e a satisfação dos empregados; e – Otimiza o desempenho econômico no ciclo de vida.
- b. Socialmente desejável** – Melhora as condições do ar, térmicas e acústicas dos ambientes; – Eleva os níveis de salubridade e de conforto para os ocupantes; e – Contribui com a saúde, vitalidade e estética para a comunidade local.
- c. Ecologicamente Sustentável** – Desenvolve e protege habitat naturais; – Melhora a qualidade do ar e água; – Reduz a produção de resíduos sólidos; – Preserva recursos naturais; e – Diminui a emissão de gases poluentes.

2.3.4 ASPECTO ECONÔMICO

Quando se fala em aspecto economicamente viável falamos em desenvolvimento econômico sustentável, ações realizadas sem a degradação do meio ambiente ao redor, reduzindo os custos da operação, proporcionando boas condições de trabalho resultando no aumento da produtividade e satisfação dos funcionários e usuários em geral. Neste aspecto prevalecem as decisões relacionadas a produção, aquisição, ou seja, investimentos que devem ser realizados sempre voltados para um retorno econômico como por exemplo aquisições de materiais e equipamentos com menor consumo de energia.

No início o investimento em tecnologias menos poluentes representava um custo elevado para quem queria se adequar aos padrões sustentáveis. Com o tempo com a mudança de paradigmas a sociedade preocupada com os problemas ambientais começou a exigir empresas preocupadas com a degradação ambiental e com a redução dos poluentes. A racionalização da utilização dos insumos e a adequação de empresas as novas regras ambientais assim como o aparecimento de novas empresas voltadas a produção de equipamentos necessários a redução dos refugos, trouxe a sociedade a oportunidade de novos empregos movimentando a economia local e a utilização consciente desses insumos resultou na redução de custos demonstrando que o investimento em uma produção ambientalmente responsável traz a sociedade como um todo um retorno econômico, ambiental e social(SOUSA,2006).

2.3.5 ASPECTO SOCIAL

Considerando o tripé da sustentabilidade, o aspecto social é reconhecido como o mais importante ainda que exista a relação direta e dependente entre eles, pois é no âmbito social que surgem as necessidades e problemas relacionados ao aspecto ambiental e econômico. Neste aspecto o foco é o elemento humano e suas condições de vida. Nele a sustentabilidade está relacionada a criação de políticas, mecanismos e ações que melhorem a qualidade de vida da população atendendo as necessidades relacionadas a educação, esporte, capacitação profissional e responsabilidade social fazendo com que a população tenha as mesmas condições ou no mínimo condições de vida mais adequadas minimizando as disparidades sociais. No âmbito profissional as ações sustentáveis relacionadas ao social devem proporcionar um ambiente produtivo que estimule as relações de trabalho saudáveis favorecendo a capacitação e o desenvolvimento pessoal e coletivo (CHAVES, 2014).

2.3.6 ASPECTO AMBIENTAL

Neste aspecto suas ações têm como foco a redução do desperdício de materiais e a preservação do meio ambiente com a utilização inteligente dos recursos naturais através de projetos e medidas voltadas ao desenvolvimento com menor impacto ambiental.

2.3.7 SUSTENTABILIDADE SOCIALMENTE JUSTA OU EQUILIBRADA

Atualmente diversos segmentos da sociedade como empresas, instituições e organizações não governamentais implementam medidas e tentam atuar de forma socialmente responsável por perceberem que possuem uma “dívida social” com a sociedade. Por um lado, as empresas obtêm a matéria prima e mão-de-obra necessárias à sua produção e retribuem comercializando produtos e serviços e ainda a geração de emprego e renda. Por outro lado, instituições e ONGs precisam de forma eficiente acompanhar essa produção e seus impactos para que o retorno a sociedade seja positivo atenuando os problemas sociais relacionados a saúde, miséria, a violência, a precariedade das relações de trabalho e a degradação ambiental que afetam diretamente o setor econômico de uma sociedade. Pois através do cumprimento das exigências legais e medidas sócio ambientais cria-se uma sociedade sustentável e socialmente mais justa(SOUSA,2006).

2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo quanto à viabilidade ou não de um projeto como o objeto desta pesquisa, não se limita na análise da exequibilidade técnica da implantação do sistema, devendo aprofundar também analisando a sustentabilidade do empreendimento o qual tem, dentre seus pilares, o aspecto econômico. Neste estudo a sustentabilidade, já exposta no item anterior, foi trabalhada exclusivamente no seu aspecto econômico, como a condição ou o estado em que o projeto, ao ser implantado, deve ser autossustentável/viável economicamente.

Os conceitos e as ferramentas da disciplina ou matéria genericamente chamada Engenharia Econômica são os fundamentos e os instrumentos que possibilitam tal análise, isto é, no tocante a sustentabilidade e na definição dos valores ou grandezas que ensejam a situação ou condição de viabilidade econômica.

A Engenharia Econômica pode ser entendida como a disciplina da análise e da mensuração das conseqüências econômicas das decisões de engenharia (RENDEIRO et al, 2008).

Há vários métodos na literatura técnico-científica para se proceder a análise e definir valores e/ou indicadores da viabilidade econômica, e, embora não haja um consenso sobre a divisão e classificação destes métodos de análise econômica, pautando-se em BUARQUE (1989), HIRSCHFELD (1989), RENDEIRO et al (2008) e CASAROTO FILHO et al (2000), pode-se apresentar os métodos clássicos e recorrentemente citados e utilizados, como a seguir:

2.4.1 Payback: (Tempo de Retorno do Investimento)

Objetiva calcular quanto tempo o empreendedor ou investidor necessitará para recuperar o capital financeiro ou recursos (\$) que investiu no empreendimento.

Existem dois tipos:

- Simples: quando os valores futuros do fluxo de caixa são considerados sem a aplicação da taxa de desconto. É aplicável apenas em projetos de pequena monta e/ou de um horizonte pequeno (curtíssimo ou curto prazo, no máximo até 4 anos).

- Descontado: quando é considerada aplicação da taxa de desconto nos valores futuros do fluxo de caixa, trabalhando-se então com os VPL's (Valores Presentes Líquidos, que serão a seguir expostos) e não com os valores futuros absolutos.

2.4.2 Valor Presente Líquido (Vpl):

Objetiva calcular a soma algébrica de todos os valores existentes no Fluxo de Caixa, sejam os com sinais positivos (entradas, receitas ou benefícios) quantos os negativos (saídas, despesas ou custos), incluindo o investimento inicial, todos já descontados, ou seja, aplicando-se uma taxa de desconto.

2.4.3 Taxa Interna de Retorno (Tir):

Objetiva definir a taxa de desconto com a qual o Valor Presente Líquido (VPL) seja nulo, ou seja, que taxa de desconto faz como que a soma algébrica de todos os valores descontados seja igual a zero.

2.4.4 Valor Anual Uniforme (Vau)

Caracteriza-se pela transformação de todos os valores monetários do fluxo de caixa (modelo) de tal forma que se obtenha uma série uniforme (constante) de valores. Como nos estudos de viabilidade geralmente se utiliza da periodicidade anual, embora se possa ou deva eventualmente adotar outra (como mensal para projetos de curto prazo), o método recebe o nome de valor anual.

2.4.5 Análise de Sensibilidade

Na análise de sensibilidade é estudado o efeito que a variação de uma determinada variável (ou dado ou componente ou ainda input) de entrada pode ocasionar no resultado. Sua operação consiste em manterem-se as grandezas de todas as variáveis constantes, excetuando-se uma, a que está sendo analisada, calculando-se com distintas entradas resultados diferentes. Refaz-se o procedimento, desta vez alterando-se a grandeza de outra variável, e a que havia sido testada anteriormente passa a ser tratada como as demais, ou seja, mantendo-se constante, obtendo-se outra série de dados.

Em qualquer dos métodos é utilizado como representação da realidade do projeto ou como modelo o FLUXO DE CAIXA, que, basicamente, é uma linha do tempo na qual são alocadas as saídas (custos, aportes, investimentos, etc.) e as entradas (receitas, benefícios, etc.) (JESUS et al, 2015 e SANTOS et al, 2010).

É também muito importante definir o “Horizonte”, que é o período temporal de projeção do Fluxo de Caixa do empreendimento. Pode também ser entendido como o prazo do projeto, que pode ser curto, médio ou longo, dependendo de vários fatores, inclusive da vida útil. Os limites que separam os diferentes prazos são muito relativos e flexíveis, mas, de maneira geral, pode-se estabelecer que os de curto-prazo têm menos de um ano, os de médio entre um a cinco anos e os de longo mais de cinco anos.

Obras e intervenções de engenharia usualmente têm prazos longos, pois, via de regra, requerem grandes investimentos e demandam um tempo considerável de maturação e operação (RENDEIRO et al, 2008).

A Taxa de Desconto é a grandeza, geralmente expressa em percentual que movimentam os valores constantes no fluxo de caixa ao longo da linha do tempo, incorporando os juros, riscos, oportunidade, etc. Geralmente é definida por uma taxa conhecida também como taxa de interesse.

Segundo Rendeiro et al (2008), as premissas fundamentais quanto a viabilidade, são:

Payback: tempo de retorno do investimento calculado seja menor ou igual a uma expectativa do investidor ou a um tempo considerado compatível pelo segmento;

VPL: o Valor Presente Líquido, em unidade monetária (\$) tem que ser positivo, e não somente isto, deve estar acima de uma grandeza razoável para que remunere o risco e o trabalho do investidor, ou seja, tem um piso ou patamar mínimo, que pode ser estabelecido como um percentual do investimento inicial.

TIR: a Taxa Interna de Retorno tem que ter uma grandeza maior do que a TMA (Taxa Mínima de Atratividade), que seria uma expectativa mínima, expressa não em (\$), como na VPL, mas sim em percentual. A grandeza da TMA é bastante elástica e depende de muitos fatores.

3. METODOLOGIA E MATERIAIS

3.1 METODOLOGIA

Este capítulo demonstra a forma como este estudo foi realizado, sendo descritas as etapas e procedimentos referentes à metodologia utilizada. Ressalta-se a diferença entre metodologia, método e técnica. Segundo Fonseca, Miyake (2006), a Metodologia se refere ao estudo dos métodos, o método demonstra quais as etapas a seguir, indicando o que fazer, a técnica indica a forma mais apropriada de se fazer, ou seja, mostra como realizar tal atividade.

Dessa forma considerando os procedimentos utilizados e os aspectos técnicos, esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso. Segundo Schramm (1971) “a essência de um estudo de caso é tentar esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões: o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados”.

Segundo Yin (2010), o método de estudo de caso é a estratégia recomendada quando apresentam-se questões do tipo “como?” e “por quê?”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco temporal está em fenômenos atuais, dentro de algum contexto da vida real. No que diz respeito a pesquisa de estudo de caso, pode-se incluir tanto estudos de caso único quanto de casos múltiplos, podendo se basear em mescla de provas quantitativas e qualitativas. Ressalte-se que um dos propósitos do estudo de caso é proporcionar uma perspectiva global do problema gerando informações valiosas para a sua avaliação e solução (ESTUMANO, 2017).

a) Planejamento da Pesquisa

Para iniciar o presente estudo, a primeira etapa do trabalho compreendeu em delimitar e definir-se os objetivos da pesquisa, realizar pesquisa bibliográfica relacionada aos temas que subsidiem a mesma, que, neste estudo foram três: coberturas, energia e sustentabilidade. Delimitou-se a área de pesquisa para realizar o estudo em 4 edificações da Universidade Federal do Pará. Posteriormente buscou-se elaborar um protocolo para que esta pesquisa pudesse ser realizada, de acordo com o propósito deste estudo, assim como os procedimentos necessários para a realização do levantamento de dados.

b) Levantamento de Dados

Nesta segunda etapa foram realizadas visitas *in loco*, levantamento documental na Diretoria de Espaço Físico da Prefeitura da UFPA, buscando obter-se informações técnicas referentes aos projetos e construção das edificações escolhidas para este estudo, analisando a área da edificação, localização, tempo de construção, sistema de cobertura, os materiais utilizados e o consumo energético das edificações. Também foram coletados dados sobre materiais de cobertura e seus custos.

c) **Resultados e Análises**

Após o levantamento de dados e as informações obtidas através dos projetos, documentos da Instituição e visita técnica, estes dados foram analisados para que se pudesse sugerir o tipo de material adequado para as coberturas, considerando o conforto ambiental, seus custos e alternativa de redução de consumo energético através de implantação de sistema de geração de energia limpa. Para o tratamento das informações supracitadas, foi realizada uma análise através do *software RETScreen Expert*, para complementação de análise de dados de localização, irradiação solar, consumo energético, sistema de instalação de energia limpa. Posterior a isso, foram realizadas análise de substituição das coberturas por telhas termoacústicas, quando necessário, e a instalação de sistema de energia fotovoltaica, mensurando os materiais utilizados, seus custos, instalação do sistema e produção de energia e a viabilidade econômico financeiro da instalação do sistema. A última etapa delimitada na metodologia deste trabalho se refere viabilidade econômica financeiro da instalação do sistema que utilizará como indicadores para análise da viabilidade o *payback*, *payback* descontado e o valor presente líquido através do fluxo de caixa projetado para 25 anos.

3.2 ESTUDO DE CASO

A cidade universitária Professor José Silveira Netto na cidade de Belém/PA está localizada as margens do rio Guamá, ocupando uma área de 2.240.619,18 M², limitando-se com os bairros Guamá e Terra Firme. O objeto de estudo se restringe às edificações da Universidade Federal do Pará, utilizando para isso as coberturas das edificações já existentes, Prédio da Reitoria e Anexo-Campus Básico, Hospital Bettina Ferro de Souza- Setor Saúde e Passarelas de Acesso- Campus Profissional da Cidade Universitária - Campus Belém e a análise do histórico de consumo energético desses locais.

A importância desse estudo considerou o elevado consumo de energia pela Instituição aliado à necessidade de implantação de tecnologia e materiais sustentáveis no espaço físico utilizado, coadunando e implantando na própria Instituição o resultado de estudos e ações da UFPA voltados para a sustentabilidade.

A Universidade Federal do Pará com 60 anos de existência tem como o marco inicial de sua expansão nas edificações a década de 70/80 com a implantação do Programa de Expansão e Melhoramento das Instalações do Ensino Superior-PREMESU 4. A figura 44 a seguir ilustra o campus.

3.2.1 EDIFICAÇÕES DA UFPA PARA O ESTUDO DE CASO



Figura 44 - Vista aérea Cidade Universitária (Fonte: software RETScreen Expert)

O estudo inicia-se com as especificações da estrutura das edificações, onde se sugere a instalação do sistema fotovoltaico. As condições estruturais das edificações, assim como as ambientais que se diferenciam no território nacional, foram consideradas pelo fato de causarem interferência direta na eficiência do sistema. Nas edificações onde as telhas da cobertura não são termoacústicas sugere-se a substituição por essas considerando a sustentabilidade e o conforto ambiental sugeridos neste estudo, incluindo a substituição das telhas quando necessárias no orçamento. Para a implantação do sistema sugerido, visando o custo benefício, foi realizada pesquisa de mercado entre os fornecedores com a análise técnica para a aquisição das placas, equipamentos e outros itens necessários para a implantação do sistema proposto.

Os dados coletados para a análise da viabilidade da instalação do Sistema Fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica nas edificações escolhidas para o presente estudo foram:

- a) Localização da edificação (latitude/longitude);
- b) Estrutura da Edificação;
- c) Média do custo da energia elétrica atualmente paga pela Instituição à distribuidora de energia;
- d) Radiação solar no local;
- e) Inclinação dos painéis solares e sombreamento (perdas/ganhos);
- f) Média anual da temperatura ambiente;
- g) Quantitativo de painéis solares considerando área de cobertura disponível para instalação dos equipamentos;
- h) Potência, tensão elétrica e rendimento dos painéis solares;

Na figura 45 com base na localização das edificações apresentam-se os dados climáticos, latitude e longitude.

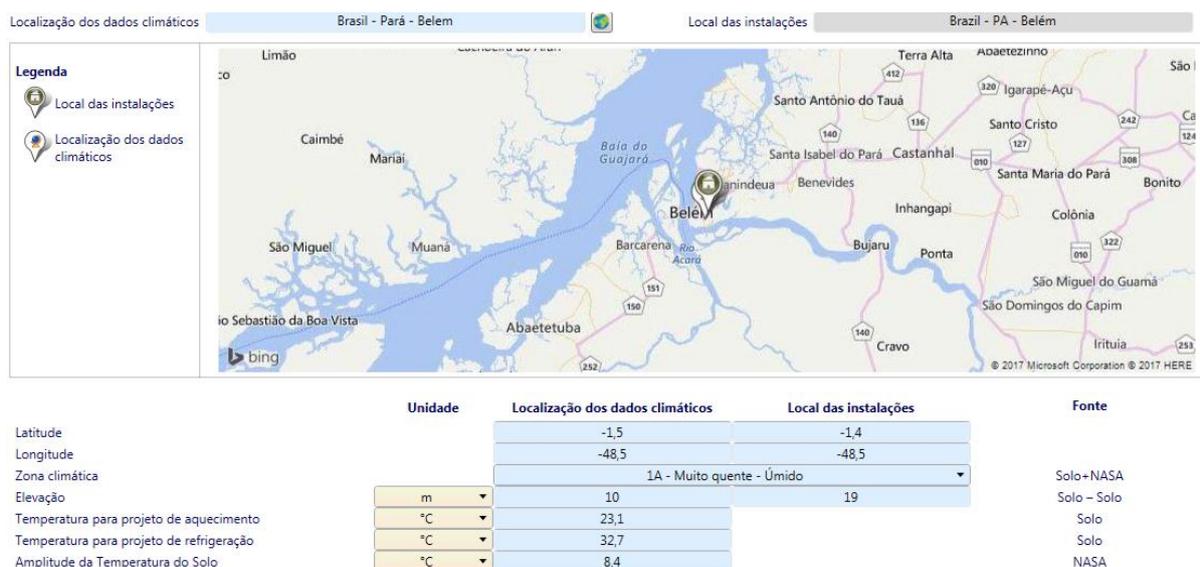


Figura 45 - Dados climáticos, latitude e longitude (Fonte: software RETScreen Expert).

Para os cálculos de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica é fundamental considerar a radiação solar que neste caso considera-se a irradiação solar (4,11KWh/m²/dia) quantidade média diária de sol e as variações de temperatura do local onde o mesmo é instalado, pois tais fatores impactam no rendimento das placas. A Figura 46 apresenta a média mensal dos dados climáticos da cidade de Belém/Pa. A Figura 47 demonstra a média mensal da radiação solar diária da cidade de Belém/Pa onde a Instituição de Ensino Superior está localizada. Com base nesses dados foram realizados os cálculos de geração de energia e instalação do sistema em cada edificação considerando as especificações do projeto.

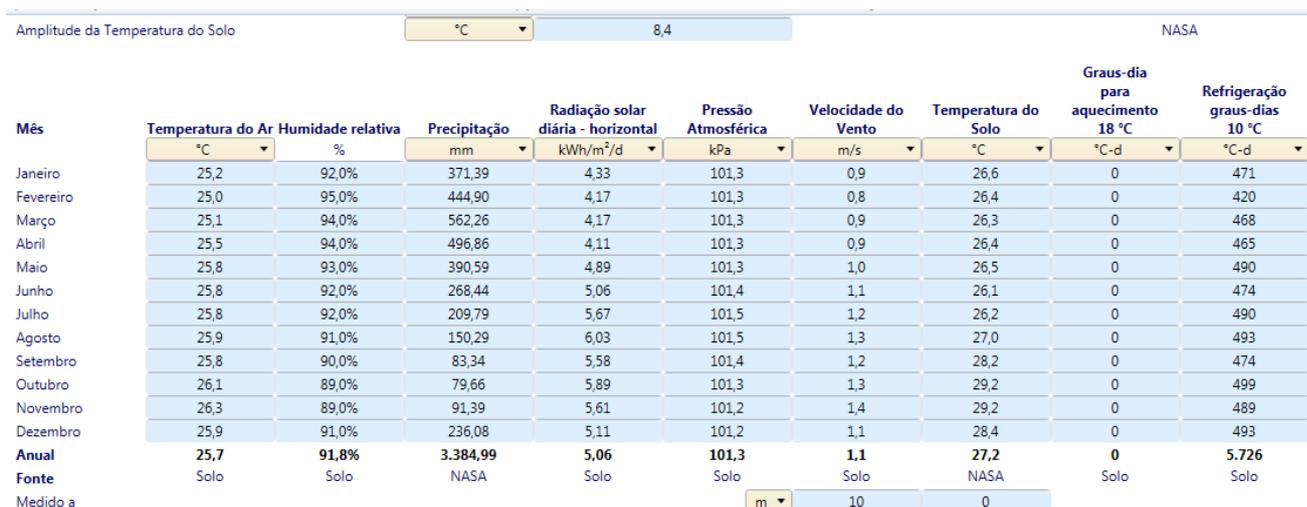


Figura 46 - Dados climáticos: média mensal da cidade em que a Instituição de Ensino Superior está localizada (Fonte: software RETScreen Expert).

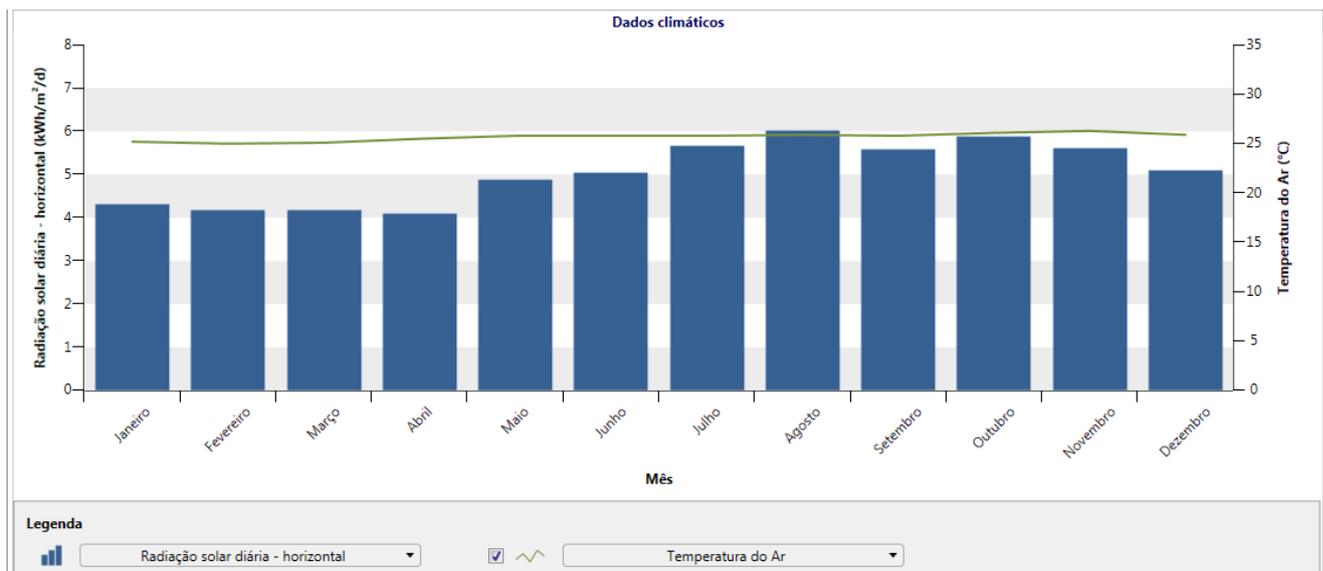


Figura 47 - Irradiação solar diária média. (Fonte: software RETScreen Expert).

A demanda diária de consumo energético para análise da viabilidade considerou o consumo no horário considerado fora da ponta, por ser o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares. Figura 48 apresenta o gráfico de demanda diária, demonstrando o horário de demanda considerado fora da ponta colorido em azul.

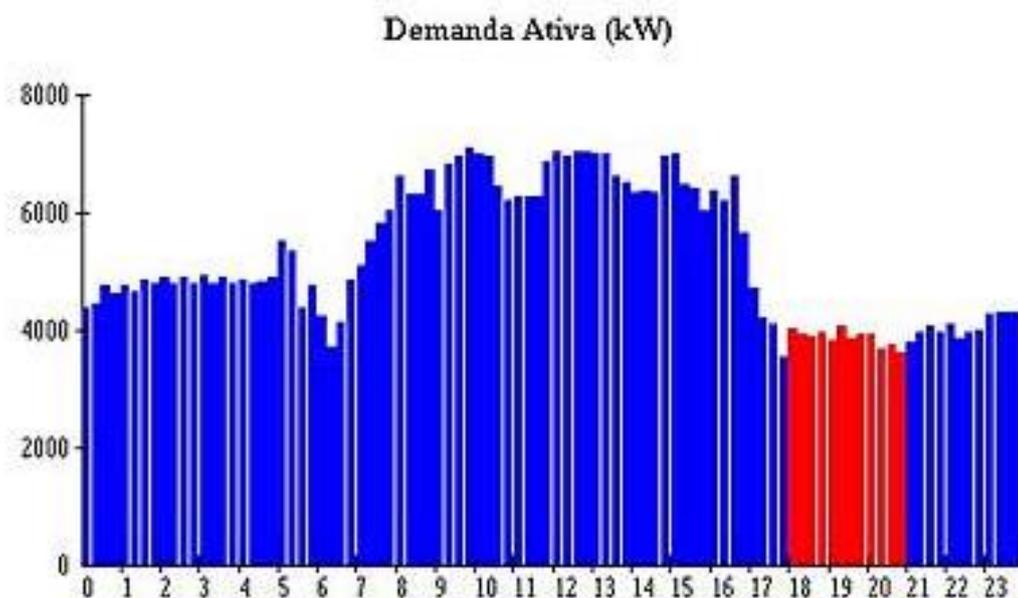


Figura 48 - Gráfico de Demanda Diária Horário Fora da Ponta (em azul) e Na Ponta (em vermelho).

Fonte: http://www.controleinstrumentacao.com.br/arquivo/ed_65/ed_65a.html

Conforme estudo dos temas considerados relevantes para a elaboração deste trabalho, expostos na revisão bibliográfica, caracterizou-se as edificações em relação à área de cobertura disponível da edificação para a integração de módulos solares fotovoltaicos e o consumo de energia elétrica das mesmas.

Após foi realizada a simulação da instalação do sistema fotovoltaico à edificação, considerando a integração arquitetônica, o potencial instalado e a geração fotovoltaica. Posteriormente avaliou-se a contribuição de um sistema fotovoltaico diante do consumo energético da edificação. Por fim com base nos custos da instalação, estudou-se a viabilidade econômica da instalação do sistema fotovoltaico na edificação, considerando seu consumo energético mensal.

3.2.1.1 PRÉDIO DA REITORIA– CAMPUS BÁSICO

As figuras 49 e 50 a seguir mostram imagens atuais do Prédio da Reitoria.



Figura 49- Prédio da reitoria da UFPA, campus básico (www.ufpa.br).

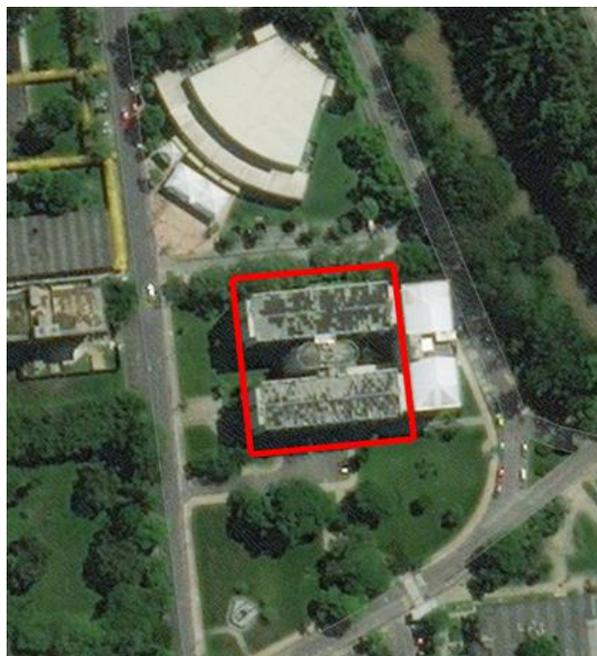


Figura 50 - Vista aérea Prédio da Reitoria (Fonte: software RETScreen Expert).

a) Histórico da Edificação e especificações de projeto

O Prédio da Reitoria construído na década de 70, é uma edificação contendo 4 pavimentos. O tipo de estrutura utilizado em sua cobertura é estrutura de madeira coberta com Telhas onduladas de fibrocimento $e=6\text{mm}$. Através de plantas baixas, cortes e planta de cobertura, levantamentos fotográficos e *in-loco*, estimou-se a área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos. Considerou-se a arquitetura existente, de modo a não interferir no projeto arquitetônico da edificação. Os módulos fotovoltaicos foram integrados a área de cobertura nos locais possíveis de recebê-los. De acordo com o projeto arquitetônico, foi possível estimar a área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos. A cobertura do Prédio pode ser visualizada nas Figura 51 e Figura 52 a seguir.

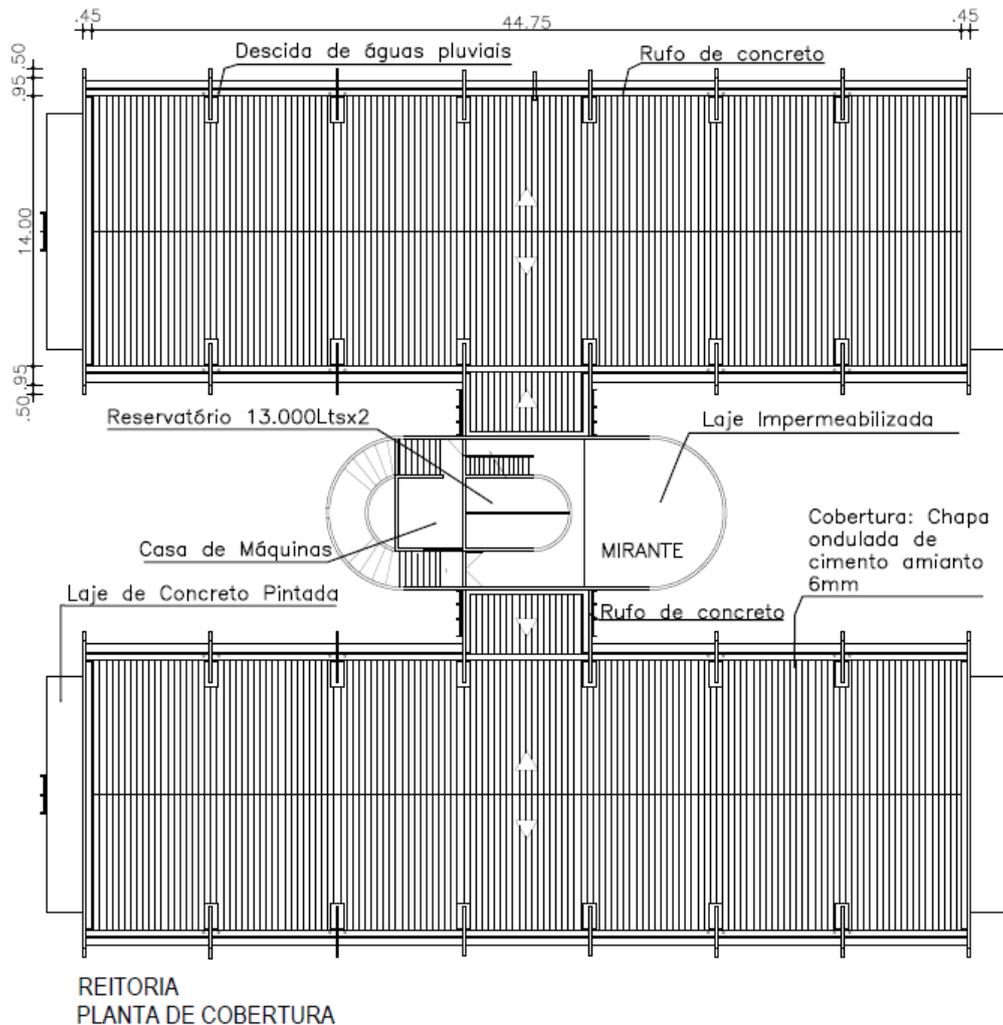


Figura 51- Reitoria: planta baixa da cobertura (acervo UFPA).

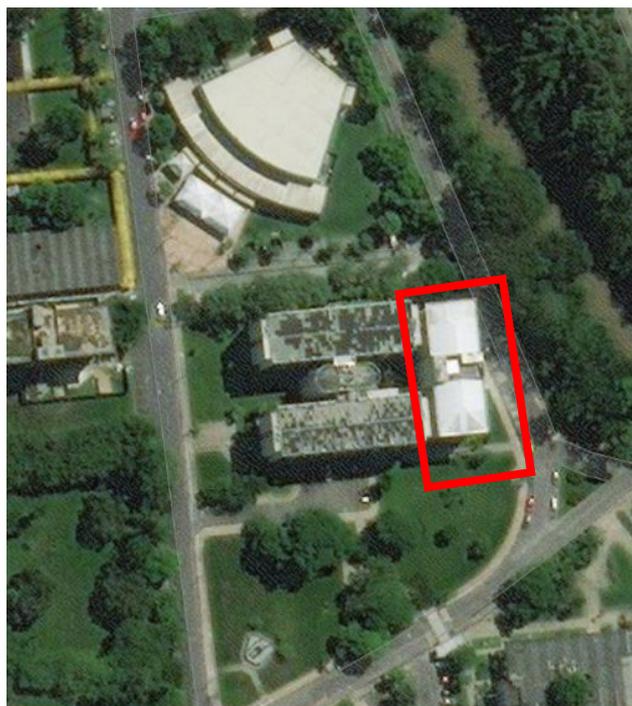


Figura 54 - Vista aérea Anexo da Reitoria (Fonte: software RETScreen Expert).

a) Histórico da Edificação e especificações de projeto

O Prédio do Anexo da Reitoria construído no ano de 2015, possui cerca de 483,54m² de área de cobertura. Edificação contendo 4 pavimentos. O tipo de estrutura utilizado em sua cobertura é estrutura metálica coberta com telhas termoacústica com recheio em EPS, pré-pintada na face externa na cor branca.

Através de plantas baixas, cortes e planta e cobertura, levantamentos fotográficos e in-loco, estimou-se a área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos. Considerou-se a arquitetura existente, de modo a não interferir no projeto arquitetônico da edificação.

Os módulos fotovoltaicos foram integrados a área de cobertura nos locais possíveis de recebê-los. De acordo com o projeto arquitetônico, foi possível estimar a área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos. A cobertura do Prédio pode ser visualizada nas Figura 55 e Figura 56.

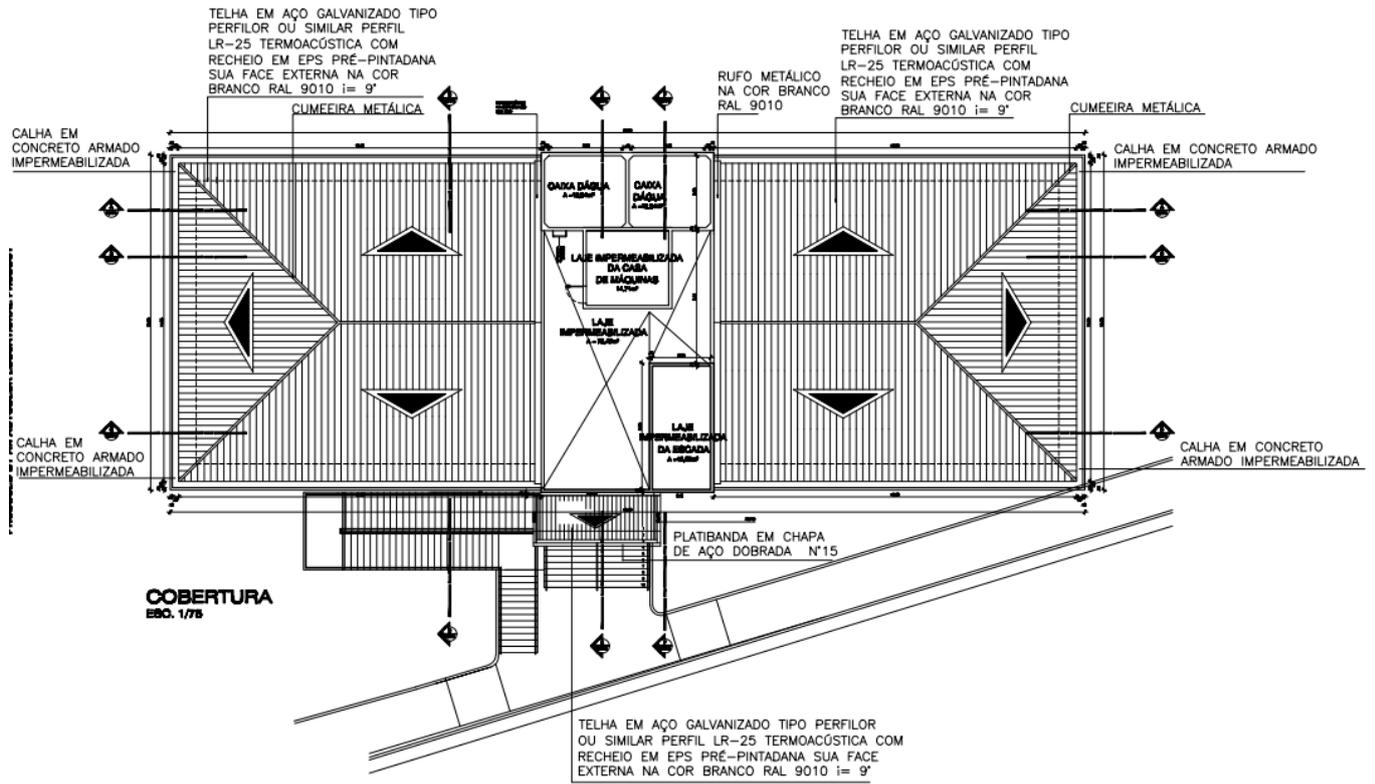


Figura 55 - Anexo da Reitoria: planta baixa da cobertura (acervo UFPA).

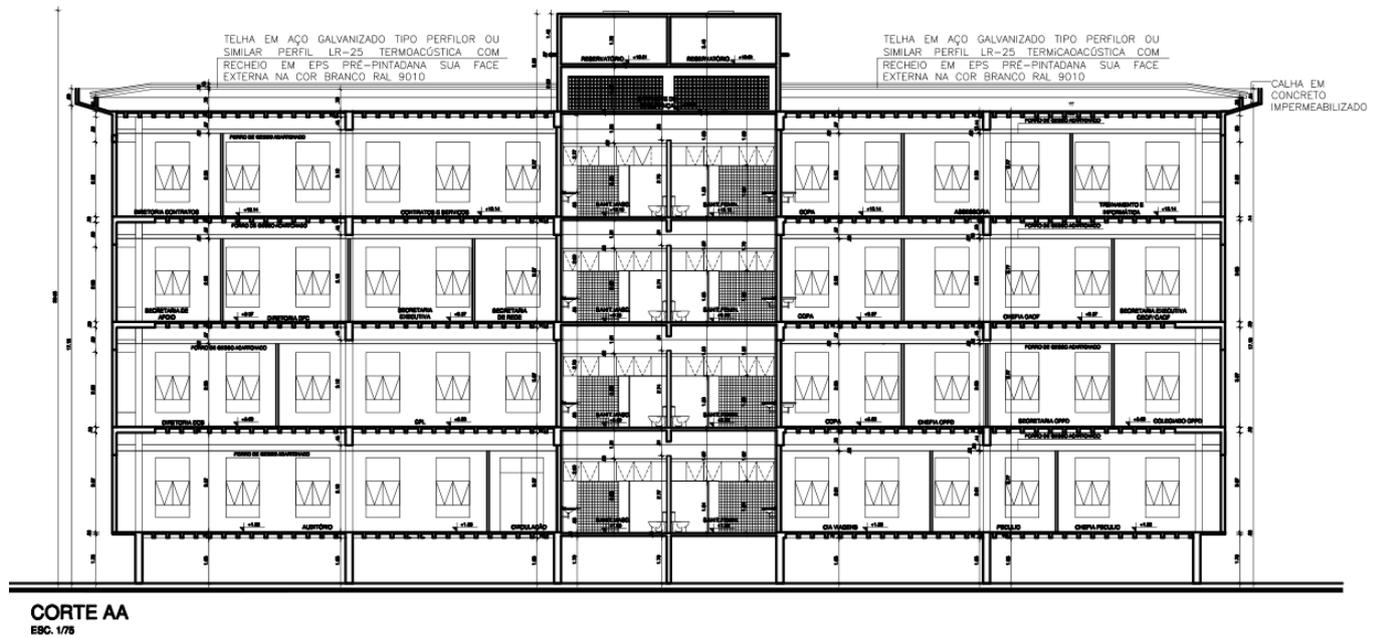


Figura 56 - Anexo da Reitoria: corte longitudinal da cobertura (acervo UFPA).

Consumo de energia elétrica do Anexo da Reitoria

Potência instalada: Um transformador trifásico de 500 kVA, ligado em Y aterrado, 13.8 kV/220/127V, 60 Hz.

1. Consumo de energia elétrica Fora na Ponta: 75.519,99 kWh/mês, valor do kWh para esse período é de: R\$ 0,429320, o que representa um custo de R\$ 32.422,24
2. Consumo de energia elétrica na Ponta: 3.776 kWh/mês, valor do kWh para esse período é de: R\$ 3,389805 o que representa um custo de R\$ 1.280,00

3.2.1.3 HOSPITAL BETTINA FERRO DE SOUZA – SETOR SAÚDE

As figuras 57 e 58 mostram imagens aérea e frontal do Hospital Bettina Ferro.



Figura 57 - Vista aérea Hospital Bettina Ferro De Souza (Fonte: software RETScreen Expert).



Figura 58 - Vista frontal do Hospital Universitário Bettina Ferro De Souza (Fonte:www.ufpa.br).

a) Histórico da Edificação e especificações de projeto

O Prédio do Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza é uma edificação de um pavimento e o tipo de estrutura utilizado em sua cobertura é estrutura de madeira coberta com Telhas de cerâmica tipo PLAN. Através de plantas baixas, cortes e planta de cobertura, levantamentos fotográficos e *in-loco*, estimou-se a área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos. Considerando o estudo e a necessidade de adequação visando o conforto ambiental e a sustentabilidade foi proposto a substituição da cobertura por telhas termoacústica com estrutura metálica, preservando a linha arquitetônica da edificação. Os módulos fotovoltaicos foram integrados a área de cobertura nos locais possíveis de recebê-los. De acordo com o projeto arquitetônico, foi possível estimar a área disponível para a integração de módulos fotovoltaicos. A cobertura do Prédio pode ser visualizada nas Figura 59e Figura 60

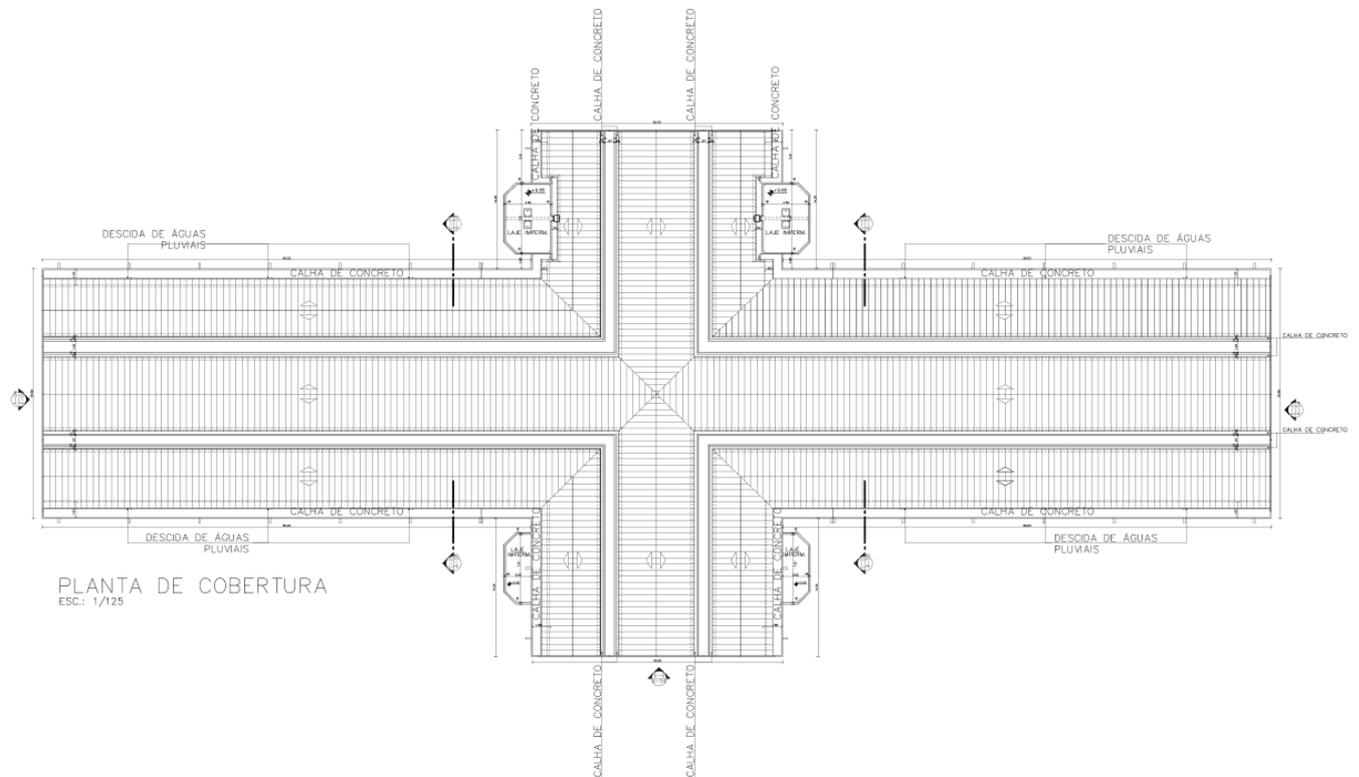


Figura 59 - Hospital Bettina Ferro: planta baixa da cobertura (acervo UFPA).

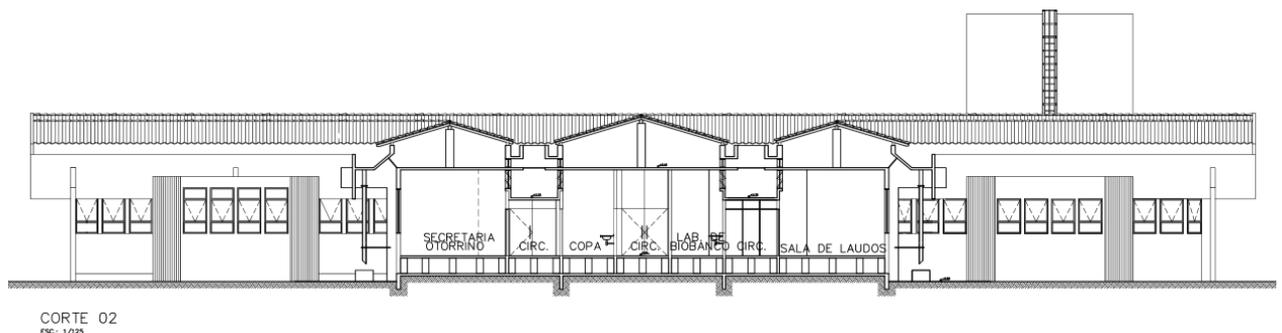


Figura 60 - Hospital Bettina Ferro: corte longitudinal da cobertura (acervo UFPA).

Consumo de energia elétrica do Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza

Potência instalada:

Um transformador trifásico de 500 kVA, ligado em Y aterrado, 13.8 kV/220/127V, 60 Hz;
Um transformador trifásico de 300 kVA, ligado em Y aterrado, 13.8 kV/380/220V, 60 Hz,
Um transformador trifásico de 225 kVA, ligado em Y aterrado, 13.8 kV/380/220V, 60 Hz.

O transformador de 500 KVA, alimenta as cargas de tomadas e iluminação, o transformador de 300 kVA está desativado e alimentava o antigo sistema de climatização do hospital, e o transformador de 225 kVA, alimenta o sistema de exames de imagens (raio x) do hospital. Potência instalada: O transformador trifásico de 500 kVA, ligado em Y aterrado, 13.8 kV/220/127V, 60 Hz.

1. Consumo de energia elétrica Fora na Ponta: 135.000 kWh/mês, valor do kWh para esse período é de: R\$ 0,429320, o que representa um custo de R\$ 57.958,20
2. Consumo de energia elétrica na Ponta: 2.700,27 kWh/mês, valor do kWh para esse período é de: R\$ 3,389805 o que representa um custo de R\$ 9.153,39

3.2.1.4 PASSARELAS DE ACESSO – CAMPUS PROFISSIONAL

Na figura 61 pode-se observar imagem aérea das passarelas de acesso.



Figura 61 - Vista aérea Passarelas de Acesso do Campus Profissional da UFPA (Fonte: software RETScreen Expert).

a) Histórico da Edificação e especificações de projeto

As passarelas de acesso cobertas no campus profissional utilizadas no estudo demonstradas nas *Figura 61 e Figura 62* correspondendo a 100m linear foram consideradas para o estudo de geração de energia fotovoltaica, considerando sua localização e área disponível como demonstração de possibilidade de geração de energia limpa em locais diversificados.

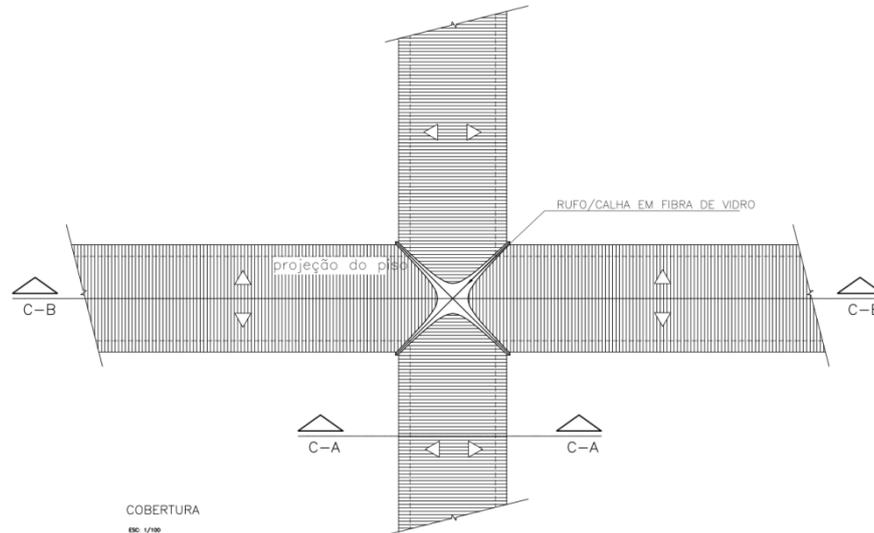


Figura 62 - Passarelas: planta baixa da cobertura (acervo UFPA).

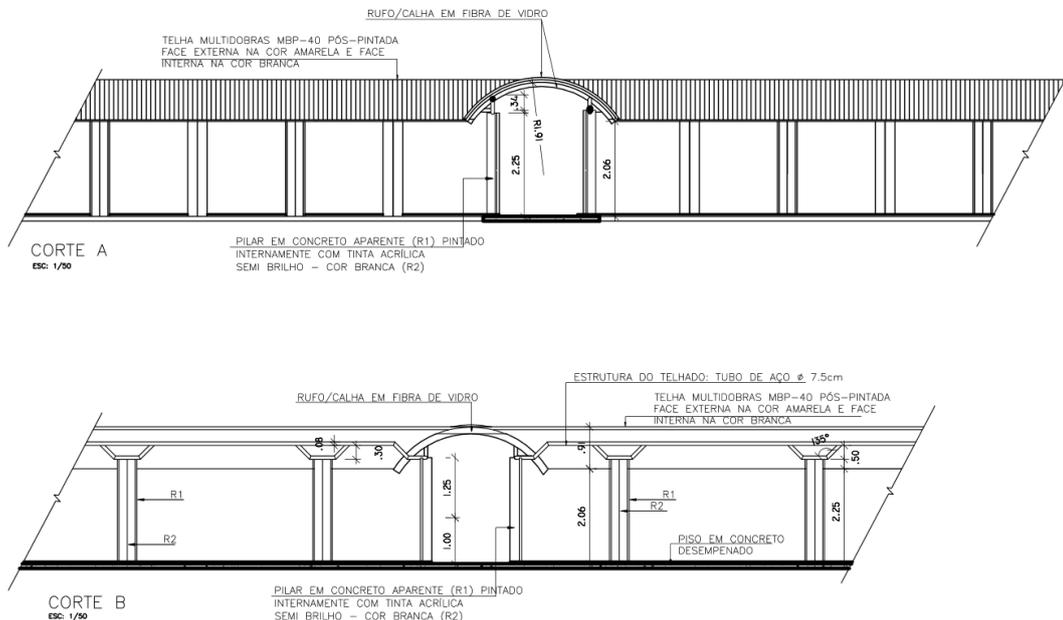


Figura 63 - Passarelas: cortes (A e B) longitudinais da cobertura (acervo UFPA).

Consumo de energia elétrica das Passarelas

O estudo para instalação do sistema fotovoltaico nas passarelas não considerou o consumo das mesmas pelo fato de sua demanda de energia está computada no consumo dos prédios administrativos.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Prédio Reitoria

a) Instalação e Custos de Gerador Fotovoltaico do Prédio da Reitoria

Os dados coletados referentes à localização, dados climáticos, radiação solar e o consumo energético mensal do prédio demonstrado foram utilizados para os cálculos de geração de energia e instalação do sistema. Conforme dados coletados, o sistema fotovoltaico proposto para o Prédio da Reitoria é composto dos componentes e seus respectivos custos, conforme detalhada na Tabela 16.

Os módulos fotovoltaicos serão instalados na parte superior da cobertura fixados em suportes na própria cobertura. No andar térreo estarão instalados os inversores e painéis elétricos, juntamente com a conexão com a rede elétrica existente para o melhor acompanhamento e manutenção do sistema. Após a instalação do Sistema Fotovoltaico, o projeto elétrico será encaminhado à concessionária de energia local para avaliação e aprovação, considerando as exigências da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

Componentes	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Módulo Fotovoltaico - GLOBO BRASIL GBR320p	Placas	652	R\$ 865,57	R\$ 564.351,64
Inversor - Fronius Symo 20.0-3-M	U	11	R\$ 20.200,00	R\$ 222.200,00
Stringbox - StringBox SGB CC+CA 0401 TI.	U	11	R\$ 1.200,00	R\$ 13.200,00
Transformador 380/220 V de 20 KVA	U	11	R\$ 2.500,00	R\$ 27.500,00
Cabeamento:				
Cabo solar de cobre E, 0,6/1KVAC, #6mm ²	m	850	R\$ 8,39	R\$ 7.131,50
Cabo solar de cobre, 0,6/1KVAC, #35mm ²	m	500	R\$ 20,54	R\$ 10.270,00
Estrutura de Instalação:				
Conector WM4 Weidmuller	U	132	R\$ 30,82	R\$ 4.068,24
Grampo Intermediário	U	1.180	R\$ 7,15	R\$ 8.437,00
Grampo Terminal	U	265	R\$ 6,60	R\$ 1.749,00
Perfil Perfurado de 4,20m em Aço Galvanizado à Fogo	U	265	R\$ 95,48	R\$ 25.302,20
Perfil Perfurado de 2,10m em Aço Galvanizado à Fogo	U	132	R\$ 47,74	R\$ 6.301,68
Junção do Perfil	U	265	R\$ 3,90	R\$ 1.033,50
VALOR TOTAL DO PROJETO				R\$ 865.029,76

Tabela 16 - Componentes e custos do Sistema Fotovoltaico Prédio Reitoria. (Fonte: Autor, 2018).

A pesquisa dos valores unitários de cada item foi feita com base nos preços médios de mercado. Conforme se verifica na Tabela 16, o investimento para instalação do sistema e geração de energia através de painéis fotovoltaicos é de **R\$ 865.029,76**.

b) Capacidade de Instalação do Sistema Proposto

A instalação do sistema proposto contendo 652 placas solares perfaz uma Potência do Sistema Fotovoltaico de 209,40 KW, considerando temperatura, inclinação e radiação no local. Dessa forma com o sistema instalado terá um consumo máximo de 731,54 kWh/dia, aproximadamente, 21.946,20 KWh/mês.

c) Viabilidade Econômico-Financeira da Implantação do Sistema Fotovoltaico

A Rede Celpa é a distribuidora de energia que fornece a energia para a Instituição com valor do KWh fora da ponta de R\$ 0,4293 conforme observado na fatura, sendo o valor considerado para a análise da viabilidade por ser o período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares. Com a produção de aproximadamente 21.946,20 KWh/mês, considerando o valor do KWh/dia da distribuidora pode ser obtida uma economia mensal de R\$ 9.421,50, perfazendo em média uma economia anual de aproximadamente R\$ 113.058,00. A energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico pode suprir uma parcela de aproximadamente 13,07% do consumo de energia mensal da edificação, de acordo com estudos técnicos realizados, considerando o consumo de energia elétrica fora da ponta na fatura, conforme demonstrado na *Tabela 24 - Quadro Geral de Análises de Resultados (Autor, 2018)*. com os dados gerais para a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico no prédio.

Para a análise da viabilidade, conforme pode-se observar no Fluxo de Caixa Projetado, na Tabela 17, foi considerada uma Taxa de Desconto de 6% ao ano definida com base no reajuste anual médio do valor da tarifa de energia dos últimos 5 anos, o valor de 1% do custo de manutenção anual do sistema (R\$ 8.650,30/ano) foram arbitrados em função do investimento inicial para manutenção do sistema, assim como, a cada 5 anos o valor de 5% para Reposição de Acessórios do Sistema (R\$ 43.251,49), sendo que nessa considerou-se o tempo de vida útil dos mesmos (trilhos, parafusos e etc) que em média oscilam entre 5 a 6 anos, diferentemente da vida útil do sistema como um todo que é de aproximadamente 25 anos.

Assim, considerando o investimento da instalação, a taxa de desconto e a manutenção o cálculo do *payback* no fluxo de caixa descontado demonstra que são necessários 12,5 anos para recuperar o investimento de Instalação e Manutenção do sistema proposto. Se considerado apenas o investimento inicial de instalação proposto e a economia anual acumulada de R\$ 113.058,00, aproximadamente em 8 anos o sistema já estará pago (R\$ 113.058,00 x 8 = R\$ 904.464,00) ficando ainda um saldo superior de R\$ 39.434,24 acima dos R\$ 865,029,76 de custo total investidos na instalação do sistema. Observa-se ainda no Fluxo de Caixa Descontado Acumulado da Tabela 17 que o valor presente líquido ao final do vigésimo quinto ano será de R\$ 381.646,30.

Dessa forma, o projeto de instalação do sistema fotovoltaico proposto para o Prédio da Reitoria mostra-se alternativa sustentável, com redução de custos e **viável** economicamente.

FLUXO DE CAIXA PROJETADO

Investimento Instalação Sistema: R\$ 865.029,76

Economia Anual Geração Energia: R\$ 113.058,00

Custo Manutenção Sistema: (1% ao ano): R\$ 8.650,30

Reposição Acessórios Sistema (a cada 5 anos): R\$43.251,49

Vida útil: 25 anos

Taxa de desconto: 6 %

ANO	VALOR		FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	RESULTADO FLUXO DE CAIXA DESC ACUMULADO
	Saídas/Custos	Entradas/Benefícios			
0	865.029,76		- 865.029,76	- 865.029,76	- 865.029,76
1	8.650,30	113.058,00	104.407,70	98.497,83	- 766.531,93
2	8.650,30	113.058,00	104.407,70	92.922,48	- 673.609,44
3	8.650,30	113.058,00	104.407,70	87.662,72	- 585.946,72
4	8.650,30	113.058,00	104.407,70	82.700,68	- 503.246,04
5	51.901,79	113.058,00	61.156,21	45.699,48	- 457.546,56
6	8.650,30	113.058,00	104.407,70	73.603,31	- 383.943,25
7	8.650,30	113.058,00	104.407,70	69.437,09	- 314.506,17
8	8.650,30	113.058,00	104.407,70	65.506,68	- 248.999,48
9	8.650,30	113.058,00	104.407,70	61.798,76	- 187.200,73
10	51.901,79	113.058,00	61.156,21	34.149,31	- 153.051,41
11	8.650,30	113.058,00	104.407,70	55.000,68	- 98.050,74
12	8.650,30	113.058,00	104.407,70	51.887,43	- 46.163,31
13	8.650,30	113.058,00	104.407,70	48.950,41	2.787,10
14	8.650,30	113.058,00	104.407,70	46.179,63	48.966,72
15	51.901,79	113.058,00	61.156,21	25.518,35	74.485,07
16	8.650,30	113.058,00	104.407,70	41.099,70	115.584,78
17	8.650,30	113.058,00	104.407,70	38.773,31	154.358,08
18	8.650,30	113.058,00	104.407,70	36.578,59	190.936,67
19	8.650,30	113.058,00	104.407,70	34.508,10	225.444,78
20	51.901,79	113.058,00	61.156,21	19.068,80	244.513,58
21	8.650,30	113.058,00	104.407,70	30.712,09	275.225,66
22	8.650,30	113.058,00	104.407,70	28.973,67	304.199,33
23	8.650,30	113.058,00	104.407,70	27.333,65	331.532,98
24	8.650,30	113.058,00	104.407,70	25.786,46	357.319,45
25	8.650,30	113.058,00	104.407,70	24.326,85	381.646,30

Tabela 17 - Quadro Fluxo de caixa Projetado Prédio da Reitoria (Autor, 2018).

4.2 Prédio do Anexo da Reitoria

a) Instalação e Custos de Gerador Fotovoltaico do Prédio do Anexo Reitoria

Os dados coletados referentes a localização, dados climáticos, radiação solar e o consumo energético mensal do prédio, foram utilizados para os cálculos de geração de energia e instalação do sistema. Conforme dados coletados, o sistema fotovoltaico proposto para o Anexo da Reitoria é composto dos componentes e seus respectivos custos, conforme detalhado na Tabela 18.

Prédio Anexo da Reitoria				
Componentes	Unidade	Quantidade	Valor	Valor Total
Módulo Fotovoltaico - GLOBO BRASIL GBR320p	Placas	248	R\$ 865,57	R\$ 214.661,36
Inversor - Fronius Symo 20.0-3-M	U	04	R\$ 20.200,00	R\$ 80.800,00
Stringbox - StringBox SGB CC+CA 0401 TL.	U	04	R\$ 1.200,00	R\$ 4.800,00
Transformador 380/220 V de 20 KVA	U	04	R\$ 2.500,00	R\$ 10.000,00
Cabeamento:				
Cabo solar de cobre 0,6/1KVAC, #6mm ²	m	60	R\$ 8,39	R\$ 503,40
Cabo solar de cobre 0,6/1KVAC, #10mm ²	m	550	R\$ 11,32	R\$ 6.226,00
Cabo solar de cobre, 0,6/1KVAC, #35mm ²	m	250	R\$ 20,54	R\$ 5.135,00
Estrutura de Instalação:				
Conector WM4 Weidmuller	U	55	R\$ 30,82	R\$ 1.695,10
Grampo Intermediário	U	450	R\$ 7,15	R\$ 3.217,50
Grampo Terminal	U	100	R\$ 6,60	R\$ 660,00
Perfil Perfurado de 4,20m em Aço Galvanizado à Fogo	U	100	R\$ 95,48	R\$ 9.548,00
Perfil Perfurado de 2,10m em Aço Galvanizado à Fogo	U	55	R\$ 47,74	R\$ 2.625,70
Junção do Perfil	U	100	R\$ 3,90	R\$ 390,00
VALOR TOTAL DO PROJETO				R\$ 340.262,06

Tabela 18 - Componentes e custos do Sistema Fotovoltaico Prédio Anexo Reitoria. (Fonte: Autor, 2018).

b) Capacidade de Instalação do Sistema Proposto

A instalação do sistema proposto contendo 248 placas solares perfaz uma Potência do Sistema Fotovoltaico de 79,65 KW, considerando temperatura, inclinação e radiação no local. Dessa forma com o sistema instalado tem-se a possibilidade de ter um consumo máximo de 278,25 kWh/dia, aproximadamente, 8.347,5 kWh/mês.

c) Viabilidade Econômico-Financeira da Implantação do Sistema Fotovoltaico

No Fluxo de Caixa Projetado na Tabela 19 foi considerado:

Valor unitário de R\$ 0,4293/KWh (fatura)

Produção de aproximadamente 8.347,50KWh/mês considerando o valor do kWh/dia

Economia mensal de R\$ 3.583,58

Economia anual de aproximadamente R\$ 43.002,96.

A energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico pode suprir uma parcela de aproximadamente 12,64 % do consumo de energia mensal da edificação.

Taxa de Desconto de 6% ao ano

O valor de 1% do investimento inicial ao ano (R\$ 3.402,62/ano) para manutenção do sistema.

A cada 5 anos o valor de 5% do custo total de instalação para Reposição de Acessórios do Sistema (R\$ 17.013,10) considerando o tempo de vida útil desses acessórios que compõem o sistema.

O *payback no* fluxo de caixa descontado demonstra que são necessários 13,5 anos para recuperar o investimento de Instalação e Manutenção do sistema proposto. Se considerado apenas o investimento inicial de instalação proposto e a economia anual acumulada de R\$ 43.002,96 aproximadamente em 8 anos o sistema já estará pago ($R\$ 43.002,96 \times 8 = R\$ 344.023,68$).

O Valor Presente Líquido ao final do vigésimo quinto ano será de R\$ 131.346,24.

Dessa forma o projeto de instalação do sistema fotovoltaico proposto para o Anexo da Reitoria mostra-se alternativa sustentável, com redução de custos e **viável** economicamente.

FLUXO DE CAIXA PROJETADO

Investimento Instalação Sistema: R\$ 340.262,06

Economia Anual Geração Energia: R\$ 43.002,96 – 12,64%

Custo Manutenção Sistema: 3.402,62 (1% ao ano)

Reposição Acessórios Sistema (a cada 5 anos): R\$ 17.013,10

Vida útil: 25 anos

Taxa de desconto: 6 %

ANO	VALOR		FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	RESULTADO FLUXO DE CAIXA DESC ACUMULADO
	Saídas/Custos	Entradas/Benefícios			
0	340.262,06		- 340.262,06	- 340.262,06	- 340.262,06
1	3.402,62	43.002,96	39.600,34	37.358,81	- 302.903,25
2	3.402,62	43.002,96	39.600,34	35.244,16	- 267.659,09
3	3.402,62	43.002,96	39.600,34	33.249,21	-234.409,88
4	3.402,62	43.002,96	39.600,34	31.367,18	-203.042,70
5	20.415,72	43.002,96	22.587,24	16.878,50	-186.164,20
6	3.402,62	43.002,96	39.600,34	27.916,68	-158.247,53
7	3.402,62	43.002,96	39.600,34	26.336,49	-131.911,04
8	3.402,62	43.002,96	39.600,34	24.845,74	-107.065,30
9	3.402,62	43.002,96	39.600,34	23.439,38	- 83.625,92
10	20.415,72	43.002,96	22.587,24	12.612,59	- 71.013,32
11	3.402,62	43.002,96	39.600,34	20.860,96	- 50.152,36
12	3.402,62	43.002,96	39.600,34	19.680,16	- 30.472,20
13	3.402,62	43.002,96	39.600,34	18.566,18	- 11.906,02
14	3.402,62	43.002,96	39.600,34	17.515,27	5.609,25
15	20.415,72	43.002,96	22.587,24	9.424,86	15.034,11
16	3.402,62	43.002,96	39.600,34	15.588,53	30.622,64
17	3.402,62	43.002,96	39.600,34	14.706,16	45.328,80
18	3.402,62	43.002,96	39.600,34	13.873,73	59.202,53
19	3.402,62	43.002,96	39.600,34	13.088,43	72.290,96
20	20.415,72	43.002,96	22.587,24	7.042,81	79.333,77
21	3.402,62	43.002,96	39.600,34	11.648,65	90.982,42
22	3.402,62	43.002,96	39.600,34	10.989,30	101.971,72
23	3.402,62	43.002,96	39.600,34	10.367,26	112.338,98
24	3.402,62	43.002,96	39.600,34	9.780,43	122.119,41
25	3.402,62	43.002,96	39.600,34	9.226,82	131.346,24VPL

Tabela 19 - Quadro Fluxo de caixa Projetado Prédio Anexo da Reitoria (Autor, 2018).

4.3 Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza

a) Instalação e Custos do Sistema Fotovoltaico do Prédio do Hospital Bettina Ferro

Os dados coletados referentes a localização, dados climáticos, radiação solar e o consumo energético mensal do prédio foram utilizados para os cálculos de geração de energia e instalação do sistema. Conforme dados coletados, o sistema fotovoltaico proposto para o Prédio do Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza é composto dos componentes e seus respectivos custos, conforme detalhado na Tabela 20.

Prédio do Hospital Bettina Ferro de Souza				
Componentes	Unidade	Quantidade	Valor	Valor Total
Módulo Fotovoltaico - GLOBO BRASIL GBR320p	Placas	1562	R\$ 865,57	R\$ 1.352.020,34
Inversor - Fronius Eco 27.0-3-S	U	19	R\$ 22.064,00	R\$ 419.216,00
Stringbox - StringBox SGB CC+CA 0501 TI	U	19	R\$ 1.200,00	R\$ 22.800,00
Transformador 380/220 V, 60 Hz de 20 KVA	U	19	R\$ 2.500,00	R\$ 47.500,00
Cabeamento:				
Cabo solar de cobre, 0,6/1KVAC, #6mm ²	m	1.100	R\$ 8,39	R\$ 9.229,00
Cabo solar de cobre, 0,6/1KVAC, #35mm ²	m	1.600	R\$ 20,54	R\$ 32.864,00
Estrutura de Instalação:				
Conector WM4 Weidmuller	U	315	R\$ 30,82	R\$ 9.708,30
Grampo Intermediário	U	2.812	R\$ 7,15	R\$ 20.105,80
Grampo Terminal	U	630	R\$ 6,60	R\$ 4.158,00
Perfil Perfurado de 4,20m em Aço Galvanizado à Fogo	U	630	R\$ 95,48	R\$ 60.152,40
Perfil Perfurado de 2,10m em Aço Galvanizado à Fogo	U	315	R\$ 47,74	R\$ 15.353,10
Junção do Perfil	U	630	R\$ 3,90	R\$ 2.457,00
VALOR TOTAL DO PROJETO				R\$ 1.995.563,94

Tabela 20 - Orçamento de Componentes e Custos Instalação do Sistema. (Autor,2018)

b) Capacidade de Instalação do Sistema Proposto

A instalação do sistema proposto contendo 1562 placas solares perfaz uma Potência do Sistema Fotovoltaico de 501,50 KW, considerando temperatura, inclinação e radiação no local. Dessa forma com o sistema instalado tem-se a possibilidade de ter um consumo máximo 1752 kWh/dia, em média, 52.560 KWh/mês.

c) Viabilidade Econômico-Financeira da Implantação do Sistema Fotovoltaico

Produção em média de 52.560 KWh/mês considerando o valor do KWh/dia.

Economia mensal de R\$ 22.564,00

Economia anual de R\$ 270.768,00.

A energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico pode suprir uma parcela de aproximadamente 13,57% do consumo de energia mensal da edificação.

Taxa de Desconto de 6% ao ano

Valor de 1% do investimento inicial ao ano (R\$19.955,64/ano) para manutenção do sistema e a cada 5 anos o valor de 5% para Reposição de Acessórios do Sistema (R\$ 99.778,20) considerando o tempo de vida útil desses acessórios que compõem o sistema.

Payback no fluxo de caixa descontado demonstra que são necessários 12,5 anos para recuperar o investimento de Instalação e Manutenção do sistema proposto. Se considerado apenas o investimento inicial de instalação proposto e a economia anual acumulada de R\$270.768,00 aproximadamente em 8 anos o sistema já estará pago (R\$ 270.768,00 x 8 = R\$2.166.144,00)

Valor presente líquido ao final do vigésimo quinto ano será de R\$ 1.007.638,83

Dessa forma o projeto de instalação do sistema fotovoltaico proposto para o Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza mostra-se alternativa sustentável, com redução de custos e **viável** economicamente.

FLUXO DE CAIXA PROJETADO

Investimento Instalação Sistema: R\$ 1.995.563,94

Economia Anual Geração Energia: R\$ 270.768,00 – 13,57%

Custo Manutenção Sistema: 19.955,64 (1% ao ano)

Reposição Acessórios Sistema (a cada 5 anos): R\$ 99.778,20

Vida útil: 25 anos

Taxa de desconto: 6 %

ANO	VALOR		FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	RESULTADO FLUXO DE CAIXA DESC ACUMULADO
	Saídas/Custos	Entradas/Benefícios			
0	1.995.563,94		- 1.995.563,94	- 1.995.563,94	- 1.995.563,94
1	19.955,64	270.768,00	250.812,36	236.615,43	- 1.758.948,51
2	19.955,64	270.768,00	250.812,36	223.222,11	- 1.535.726,40
3	19.955,64	270.768,00	250.812,36	210.586,89	- 1.325.139,50
4	19.955,64	270.768,00	250.812,36	198.666,88	- 1.126.472,62
5	119.733,84	270.768,00	151.034,16	112.861,51	- 1.013.611,11
6	19.955,64	270.768,00	250.812,36	176.812,82	- 836.798,29
7	19.955,64	270.768,00	250.812,36	166.804,54	- 669.993,75
8	19.955,64	270.768,00	250.812,36	157.362,78	- 512.630,97
9	19.955,64	270.768,00	250.812,36	148.455,45	- 364.175,52
10	119.733,84	270.768,00	151.034,16	84.336,69	- 279.838,83
11	19.955,64	270.768,00	250.812,36	132.124,82	- 147.714,01
12	19.955,64	270.768,00	250.812,36	124.646,06	- 23.067,95
13	19.955,64	270.768,00	250.812,36	117.590,62	94.522,67
14	19.955,64	270.768,00	250.812,36	110.934,55	205.457,22
15	119.733,84	270.768,00	151.034,16	63.021,28	268.478,50
16	19.955,64	270.768,00	250.812,36	98.731,35	367.209,86
17	19.955,64	270.768,00	250.812,36	93.142,79	460.352,64
18	19.955,64	270.768,00	250.812,36	87.870,55	548.223,20
19	19.955,64	270.768,00	250.812,36	82.896,75	631.119,94
20	119.733,84	270.768,00	151.034,16	47.093,17	678.213,11
21	19.955,64	270.768,00	250.812,36	73.777,81	751.990,92
22	19.955,64	270.768,00	250.812,36	69.601,71	821.592,63
23	19.955,64	270.768,00	250.812,36	65.661,99	887.254,62
24	19.955,64	270.768,00	250.812,36	61.945,27	949.199,89
25	19.955,64	270.768,00	250.812,36	58.438,94	1.007.638,83

Tabela 21 - Quadro Fluxo de caixa Projetado Hospital Universitário Bettina Ferro (Autor, 2018).

4.4 Passarelas Cobertas Campus Profissional

a) Instalação e Custos do Sistema Fotovoltaico nas Passarelas Cobertas

Os dados coletados, referentes a localização, dados climáticos, radiação solar e área disponível das passarelas, foram utilizados para os cálculos de geração de energia e instalação do sistema. Conforme dados coletados, o sistema fotovoltaico proposto para as Passarelas Cobertas –Campus Profissional é composto dos componentes e seus respectivos custos conforme detalhado no quadro da Tabela 22.

Componentes	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Módulo Fotovoltaico - Solar Cynergy, 120 Wp	Placas	586	R\$ 550,00	R\$ 322.300,00
Inversor - Fronius Symo 15.0-3-M	U	3	R\$ 17.708,30	R\$ 53.124,90
Stringbox -StringBox SGB CC+CA 0402 TI.	U	3	R\$ 1.160,00	R\$ 3.480,00
Transformador 380/220 V de 20 KVA	U	3	R\$ 2.500,00	R\$ 7.500,00
Cabeamento:				
Cabo solar de cobre E, 0,6/1KVAC, #4mm ²	m	300	R\$ 5,90	R\$ 1.770,00
Cabo solar de cobre 0,6/1KVAC, #10mm ²	m	50	R\$ 11,32	R\$ 566,00
Cabo solar de cobre, 0,6/1KVAC, #35mm ²	m	500	R\$ 20,54	R\$ 10.270,00
VALOR TOTAL DO PROJETO				R\$ 399.010,90

Tabela 22 - Orçamento de Componentes e Custos Instalação do Sistema. (Autor,2018)

b) Capacidade de Instalação do Sistema Proposto

A instalação do sistema proposto contendo 586 placas solares perfaz uma Potência do Sistema Fotovoltaico de 44,87 KW, considerando temperatura, inclinação e radiação no local.

Dessa forma com o sistema instalado tem-se a possibilidade de ter uma produção de aproximadamente 157,05 kWh/dia, e aproximadamente 4.711,50 KWh/mês.

c) Viabilidade Econômico-Financeira da Implantação do Sistema Fotovoltaico

Produção de aproximadamente 4.711,50KWh/mês considerando o valor do KWh/dia.

Economia mensal de R\$ 2.022,65 perfazendo em média uma economia anual de R\$ 24.271,80 de energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico em 100 metros de Passarela.

Taxa de Desconto de 6% ao ano,

Valor de 1% do investimento inicial ao ano (R\$3.990,10/ano) para manutenção do sistema e a cada 5 anos o valor de 5% para Reposição de Acessórios do Sistema (R\$ 19.950,50) considerando o tempo de vida útil desses acessórios que compõem o sistema.

O *payback* no fluxo de caixa descontado na Tabela 23 demonstra que não é possível recuperar o investimento de Instalação e Manutenção do sistema proposto em 25 anos de vida útil do sistema. Observa-se que no Fluxo de Caixa Descontado Acumulado ao final do vigésimo quinto ano o sistema ainda não estará totalmente pago restando um saldo de R\$ -180.335,54 considerando o investimento da instalação, a taxa de desconto e os custos de manutenção e reposição necessários para o funcionamento adequado do sistema durante esse período. Assim sendo para esta projeção não obtivemos o *payback* descontado e o VPL demonstrando a recuperação e economia do investimento inicial proposto para a instalação do sistema durante o tempo de vida útil do sistema.

Dessa forma o projeto de instalação do sistema fotovoltaico proposto para as passarelas cobertas como alternativa sustentável e de redução de custos é **inviável** economicamente.

FLUXO DE CAIXA PROJETADO

Investimento Instalação Sistema: R\$ 399.010,00

Economia Anual Geração Energia: R\$ 24.271,80 – 6,08%

Custo Manutenção Sistema: R\$ 3.990,10 (1% ao ano)

Reposição Acessórios Sistema (a cada 5 anos): R\$19.950,50

Vida útil: 25 anos

Taxa de desconto: 6 %

ANO	VALOR		FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	RESULTADO FLUXO DE CAIXA DESC ACUMULADO
	Saídas/Custos	Entradas/Benefícios			
				VPL	
0	399.010,00		- 399.010,00	- 399.010,00	- 399.010,00
1	3.990,10	24.271,80	20.281,70	19.133,68	- 379.876,32
2	3.990,10	24.271,80	20.281,70	18.050,64	- 361.825,68
3	3.990,10	24.271,80	20.281,70	17.028,91	- 344.796,77
4	3.990,10	24.271,80	20.281,70	16.065,01	- 328.731,77
5	23.940,60	24.271,80	331,20	247,49	- 328.484,28
6	3.990,10	24.271,80	20.281,70	14.297,80	- 314.186,48
7	3.990,10	24.271,80	20.281,70	13.488,49	- 300.697,99
8	3.990,10	24.271,80	20.281,70	12.724,99	- 287.973,00
9	3.990,10	24.271,80	20.281,70	12.004,71	- 275.968,29
10	23.940,60	24.271,80	331,20	184,94	- 275.783,35
11	3.990,10	24.271,80	20.281,70	10.684,15	- 265.099,21
12	3.990,10	24.271,80	20.281,70	10.079,38	- 255.019,82
13	3.990,10	24.271,80	20.281,70	9.508,85	- 245.510,97
14	3.990,10	24.271,80	20.281,70	8.970,62	- 236.540,35
15	23.940,60	24.271,80	331,20	138,20	- 236.402,16
16	3.990,10	24.271,80	20.281,70	7.983,82	- 228.418,34
17	3.990,10	24.271,80	20.281,70	7.531,90	- 220.886,44
18	3.990,10	24.271,80	20.281,70	7.105,57	- 213.780,87
19	3.990,10	24.271,80	20.281,70	6.703,37	- 207.077,50
20	23.940,60	24.271,80	331,20	103,27	- 206.974,23
21	3.990,10	24.271,80	20.281,70	5.965,97	- 201.008,26
22	3.990,10	24.271,80	20.281,70	5.628,28	- 195.379,99
23	3.990,10	24.271,80	20.281,70	5.309,69	- 190.070,29
24	3.990,10	24.271,80	20.281,70	5.009,14	- 185.061,15
25	3.990,10	24.271,80	20.281,70	4.725,61	- 180.335,54

Tabela 23 - Quadro Fluxo de caixa Projetado Passarelas de Acesso (Autor, 2018).

4.5 Síntese dos Resultados e Análises

Os resultados convergem para uma economicidade em torno de 13% do consumo mensal das 3(três) edificações estudadas, com discretas variações entre elas (de 12,64% a 13,57%), embora os investimentos iniciais para a implantação do sistema apresentem uma grande variação entre si (de R\$ 340.000,00 à R\$ 1.995.000,00), ou seja, de aproximadamente 600%.

Esta economia representa R\$35.569,08 por mês apenas para estes 3(três) prédios. Se for extrapolada essa economia a todos os prédios da Instituição, considerando o percentual de economicidade e o valor total do consumo mensal ensejaria uma redução do custo total da Instituição em aproximadamente R\$ 180.000,00/mês. De modo similar a economia mensal dos tempos de retorno dos investimentos (*payback*) das edificações também foram muito próximos, flutuando entre 12 a 14 anos, convergindo em média para o tempo de 12,5, anos correspondendo a 50% da vida útil do sistema.

As 3(três) edificações estudadas também apresentaram VPL's positivos, indicando viabilidade econômica, porém com grande variabilidade dos resultados, de R\$ 131.000,00 a R\$ 1.000.000,00. Ressalta-se que embora muito diferente em valores nominais, em termos relativos são aproximadamente convergentes, com média de 44% do investimento inicial variando entre 38% e 50%.

Nas Passarelas Cobertas, onde não há consumo significativo baseado na metodologia utilizada, a implantação do sistema fotovoltaico não se mostrou viável.

A Tabela 24, sintetiza as análises dos resultados para uma visão integrada e global.

QUADRO GERAL DE ANÁLISE E RESULTADOS DAS EDIFICAÇÕES																
ESPECIFICAÇÕES E QUANTITATIVOS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO																
PRÉDIOS	ÁREA m ²	SUBSTITUIÇÃO DA COBERTURA TELHAS TERMOACUSTICA R\$	VALOR KW/h FATURA FORA DA PONTA R\$	CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL FORA DA PONTA KW/h/mês	CUSTO CONSUMO MENSAL FORA DA PONTA R\$	QUANTIDADE MÓDULOS (PAINÉIS)	GERADOR CARGA MÁXIMA KW/dia	POTÊNCIA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO KW	ENERGIA PRODUZIDA MÊS KW/h	ECONOMIA ENERGETICA MENSAL R\$	ECONOMIA ANUAL R\$	CUSTO INSTALAÇÃO SISTEMA R\$	MANUTENÇÃO ANUAL ACESSÓRIOS SISTEMA FOTOVOLTAICO %	PERCENTUAL DE ECONOMIA CONSUMO DE ENERGIA MÊS %	PAYBACK (ANO)	VPL R\$
REITORIA	1.266,25	145.226,21	0,42932	113.280	48.633,37	652	731,54	209,4	21.946,20	9421,5	113.058,00	865.029,76	8.650,30	13,07	12,5	R\$ 381.646,30
ANEXO REITORIA	483,54	-	0,42932	75.519,99	32.422,24	248	278,25	79,65	8.347,50	3.583,58	43.002,96	340.262,06	3.402,62	12,64	13,5	R\$ 131.346,24
BETTINA	3.044,60	351.925,32	0,42932	135.000	57.958,20	1.562	1.752	501,5	52.560	22.564,00	270.768,00	1.995.563,94	19.955,64	13,57	12,5	R\$ 1.007.638,83
PASSARELAS	100	-	0,42932	-	-	586	157,05	44,87	4.711,50	2.022,65	24.271,80	399.010,00	3.990,10	-	-	-

Tabela 24 - Quadro Geral de Análises de Resultados (Autor, 2018).

5. CONCLUSÕES

Através deste estudo foi analisada a viabilidade econômica da implantação de coberturas sustentáveis, com instalação de sistema de redução do consumo energético das edificações da Universidade Federal do Pará, utilizadas no estudo de caso como alternativa de maior conforto ambiental e redução de custos.

Através da análise dos projetos arquitetônicos das edificações, dos materiais e do sistema mais adequado à realidade das edificações da Universidade Federal do Pará, os resultados revelaram que o uso da telha termoacústica nas coberturas, com a implantação de sistema de energia solar fotovoltaica, como alternativa para redução de custos é viável para todas as edificações estudadas, com economicidade em torno de 13%, tempo de retorno de 12/13 anos (50% da vida útil do sistema) e VPL de, em média, 44% do investimento inicial.

Para as passarelas cobertas da instituição, que em sua totalidade têm, aproximadamente, 5km, não se mostrou viável a implantação do sistema fotovoltaico.

Se for considerada a totalidade das edificações da Instituição, apresentará uma economicidade de aproximadamente R\$180.000,00/mês que representa importante economia significativa para Instituição.

Ressalte-se que a utilização de fonte de energia renovável, neste caso a energia solar e o uso de materiais que proporcionam conforto ambiental como as telhas termoacústicas trarão benefícios ambientais inestimáveis, agregando economia e sustentabilidade ao uso adequado do espaço físico das edificações institucionais, proporcionando menor consumo de energia elétrica e a redução dos gastos públicos, contribuindo ainda com a formação de uma sociedade sustentável.

5.1 Recomendações para trabalhos futuros

a) Realizar estudos sob diferentes cenários, por exemplo, variação do consumo e da tarifa de energia para melhor análise da viabilidade da implantação do sistema.

b) Desenvolver e analisar os benefícios ambientais que podem ser convertidos em recursos financeiros para a Instituição, o que certamente irá melhorar os indicadores de viabilidade econômica.

c) Realizar estudos que considerem o conforto termoacústico e seus impactos ambientais e econômicos para análise da viabilidade sob a ótica da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 10899:2006 - Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia.** 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA (ABCEM). **Manual Técnico: telhas de aço.** São Paulo. 2009.

ANEEL. **OFÍCIO CIRCULAR N° 0010/2017-SRD/ANEEL.** 2017.

ÁVILA, R. **Fluxo de Caixa: o que é e como ele pode te ajudar.** 2014. Disponível na internet via URL <https://blog.luz.vc/como-fazer/fluxo-de-caixa/>. 15/12/2017.

BUARQUE, Cristovam (1989), **Avaliação econômica de projetos; uma apresentação didática,** Ed. Campus, Rio de Janeiro, RJ

CAMPOS, B. **Cobertura e Arquitetura.** Brasília Concreta. Artigo. 2015.

CARDOSO, F. F. **Coberturas em telhados.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2000.

CARMO, J. **Cobertura e Telhado.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. 2016.

CARVALHO, C. R. F. **Sistema fotovoltaico isolado: uma aplicação prática no projeto Xapuri.** Monografia (Especialização). Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras – MG. 2013.

CARVALHO, J. M. **A história da sustentabilidade e sua importância nas escolas.** 2013.

CASAROTTO FILHO, Nelson e KOPITTKKE, Bruno H. (2000), **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial,** 9^a edição, Ed. Atlas, São Paulo, SP

CHAVES, H.O. **Diretrizes Sustentáveis na Construção Civil: Avaliação do Ciclo de Vida.** Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro. 2014.

COLOSSI, J. R. **Avaliação custo/benefício entre sistemas de coberturas.** 2014. Monografia. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Santa Rosa, RS. 2015.

COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL. **Agenda 21 brasileira: ações prioritárias.** 2^a ed. Ministério Do Meio Ambiente. Brasília. 2004.

COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL. **Agenda 21 brasileira: resultado da consulta nacional.** 2^a ed. Ministério Do Meio Ambiente. Brasília. 2004.

CORSINI, R. **Sistemas de Coberturas**. Revista Construção Mercado, Edição 145. 2013.

CORREA, R.L. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 2009.

DIAS, R. **Sustentabilidade - origem e fundamentos, educação e governança global; modelo de desenvolvimento**. Editora Atlas. 2015.

DOS SANTOS, I. P. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil –PPGEC. Florianópolis – SC. 2009.

ESTUMANO, K. C. **Custo de oportunidade da indisponibilidade da obra pública: Estudo de caso no CER II da UEPA**. 2017.

FLACH, R. S. **Estruturas para telhados: análise técnica de soluções**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS. Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, 2012.

FONSECA, A. V. M.; MIYAKE, D. I. **Uma análise sobre o ciclo PDCA como um método para solução de problemas da qualidade**. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza. OUT, 2006.

GERDAU. **Catálogo de telhas de aço**. Disponível na Internet via URL: <https://www.comercialgerdau.com.br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/catalogo-telha-cg.pdf>. Acessado em março de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de edificações. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo. IPT. Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo. SINDUSCON-SP. 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles. ISO 15686-1. Suíça. 2001.

IEA – PVPS – **International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme**. “IMPLEMENTING AGREEMENT ON PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS” Report IEA – PVPS18p.2008.

GÓES, J. L. N.; DIAS, A. A. **Avaliação experimental em vigas de madeira com seção composta**. ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA. Anais. Uberlândia. 2002.

GOMES, G. **Arquitetura do Ferro**. Revista Pini. Edição 90. 2000.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília, DF. IPHAN/MONUMENTA. Caderno Técnico 6.2006.

GRUPO DE DISCIPLINAS DE MATERIAIS EDIFICAÇÕES E AMBIENTE – FAC. ARQUITETURA DE LISBOA (U.T.L.). **Telha**. 2006.

HIRSCHFELD, Henrique (1989), **Engenharia econômica e análise de custos**, 4ª edição, Ed. Atlas, São Paulo, SP

JESUS, José N. P., SOUZA, Carlos Alberto de; DALFIOR, Wanda A. O. **Fluxo de Caixa como Instrumento de Gestão**. Anais do XII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – XII SEGET, Resende (RJ), 2015

LACERDA, A. **A História das Telhas**. Arte Studio Revista. 2012.

LOGSDON, N. B. **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997**. Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2002.

LUNELL, R. L. **ANÁLISE DE INVESTIMENTOS**. Disponível na internet via URL <http://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>. Acessado em 21/12/2017.

MATEUS, R. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Portugal. 2004.

MET@LICA. **Coberturas: os diversos tipos e características**. UEPG. 2011. Disponível na internet via URL: <http://www.metalica.com.br/coberturas-os-diversos-tipos-e-suas-caracteristicas>.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. **Sustentabilidade e Processo de Projetos de Edificações**. Gestão & Tecnologia de Projetos, Vol. 4, Nº 1. 2009.

MÚLTIPLOS AUTORES. **PDI (Plano de Desenvolvimento Institucional) para a UFPA 2016-2025**. UFPA. Belém. 2016.

MÚLTIPLOS AUTORES. **PLS (Plano de Gestão de Logística Sustentável) da Universidade Federal do Pará**. UFPA. Belém. 2016.

NASCIMENTO, L. R. **A avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil –PPGEC. Florianópolis – SC. 2013.

OLIVEIRA, M.A; BARBATO, L.R.A. **Estudo Das Estruturas De Membrana: Uma Abordagem Integrada Do Sistema Construtivo, Do Processo De Projetar E Dos Métodos De Análise**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v.7, n. 22, p. 107-122, 2005.

PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R.A review of solar photovoltaic technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Issue 3, v.15, p.1625-1636, 2011.

RAPOSO, F.T. **Durabilidade da construção. Estimativa da vida útil de revestimentos de coberturas planas**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal. 2009.

REIS, L. B. D.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. Ed. Manole. 2005.

RENDEIRO, Gonçalo et al. **Combustão e Gaseificação de Biomassa sólida: Soluções energéticas para a Amazônia**. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2008

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. LABSOLAR/UFSC. Florianópolis - Brasil, 2004.

SEDUC. **Ambientes Sustentáveis: Casa, Escola, Trabalho, Espaços Públicos**. 2002.

SANTOS, Cristiane A. A. dos; BARRETO, Maria Cristina R.; VIDESCI, Vanessa C. P.; HORITA, Ricardo Y. **Fluxo de Caixa**. Revista Científica do Unisalesiano-Lins (SP). Ano 1. No 1., 2010

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Brasília – DF. 2006

SOUSA, C. C. **Responsabilidade Social e Desenvolvimento Sustentável: À Incorporação dos Conceitos à Estratégia Empresarial**, Rio de Janeiro. 2006.

SOUZA, A. N; MALITE, M. **Análise Do Projeto De Estruturas Metálicas Espaciais: Ênfase Em Coberturas**, Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 7, n. 27, p. 27-58, 2005.

SOUZA, R. **Sistema fotovoltaico conectado a rede (on grid)**. Blog Blue Sol. 2017.

TÉCHNE. **Sustentabilidade e Conforto ambiental**. Ed. 162, 2010.

TELES, R. F. **Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminada colada produzidas com louro vermelho (*sextonia rubra*)**. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília. 2009.

TÉGULA. **Telhas de concreto**. Disponível na Internet via URL: <http://www.tegula.com.br/site/produtos/telhas-de-concreto.html>. Acessado em março de 2017.

THOMAS, R.; GRAINER, T. **Photovoltaic in buildings - a design guide: Department of trade and industry**. Londres, 1999.

TRINDADE, L. V. **Evolução da Arquitetura e dos materiais para Cobertura de Edificações**, Artigo. AEC WEB. 2016.

VILHENA, J. M. **Diretrizes Para Sustentabilidade das Edificações**. v.2, nº 2. 2007.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.