# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



# **Samuel Wolf**

# SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS SUSTENTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS ECOLÓGICAS

Trabalho de Graduação 2019

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

CDU 69:504

## **Samuel Wolf**

# SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS SUSTENTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS ECOLÓGICAS

Orientador

(Prof. Dr) Paulo Ivo Braga de Queiroz (ITA)

Co-orientador

(Prof. Dr) Jacqueline Elhage Ramis (UNIP)

# ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

São José dos Campos Instituto Tecnológico de Aeronáutica 2019

#### 2019

#### DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO (CIP)

#### Divisão de Informação e Documentação

PIETNOZKA, Samuel Wolf

Soluções Arquitetônicas Sustentáveis em Residências Ecológicas / Samuel Wolf Pietnozka. São José dos Campos, 2019.

73f.

Trabalho de Graduação - Curso a que pertencem os autores - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ano. Orientador: Prof. Dr. Paulo Ivo Braga de Queiroz. Co-orientador: Prof. Dr. Jacqueline Elhage Ramis.

1. Sustentabilidade. 2. The Green Studio Handbook. 3. Arquitetura Sustentável. 4. Arquitetura. 5. Habitação. 6. Construção Civil. 7. Engenharia Civil II. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. III.Soluções Arquitetônicas em Residências Ecológicas

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIETNOZKA, Samuel Wolf. Soluções Arquitetônicas Sustentáveis em Residências Ecológicas. 2019. 73 Folhas. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

#### CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Samuel Wolf Pietnozka

TÍTULO DO TRABALHO: Soluções Arquitetônicas Sustentáveis em Residências Ecológicas

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2019

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Samuel Wolf Pietnozka

Avenida Corifeu de Azevedo Marques, 3213 Ap 44C

1241-040, São José dos Campos - SP

# SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS SUSTENTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS ECOLÓGICAS

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Samuel Wolf Pietnozka

Autor

(Prof. Dr) Paulo Ivo Braga de Queiroz(ITA)

Paulo Los Brago de Chieros

P/ Paulo To Brogs de Queroz

Orientador

(Prof. Dr) Jacqueline Elhage Ramis (UNIP)

Coorientador

(Prof. Dr) Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 05 de Julho de 2019

Dedico este trabalho a todos os seres de luz que me acompanharam direta e indiretamente nesta trajetória.

Apenas o amor dá sentido à vida.

# **Agradecimentos**

Como parte integrante do trabalho de graduação, os agradecimentos, sem dúvida, são uma das mais importantes. Especialmente no país em que vivemos e na época que estamos passando, agradecer tem tomado um significado ainda mais especial. Isto, pois, atualmente, o "normal" reside em reclamar. Reclamar da crise econômica; reclamar da política; reclamar do dia que está muito quente ou da noite que está muito fria. A reclamação chegou ao ponto de ser estratégia de início de conversa: "Esta chuva que não para....". Pois bem, que sorte a minha ter um espaço reservado para uma das atitudes mais lindas e energizantes que se pode ter para com a vida; qual seja, agradecer! E a quantos seres tenho para fazer isto!

A começar, sem dúvida, pela entidade maior presente em todos nós: a existência - também conhecida como Deus. A sua presença tem estado vibrante em minha vida nos momentos prazerosos e nos momentos difíceis. Prazerosos esses como o ouvir das canções afinadas dos passáros que todos os dias pela manhã me acordaram no alojamento, H8. Difíceis esses como o fazer das longas e fatigantes provas do ITA, as quais muitas das vezes iam pela noite afora.

Deus é aquela sensação divina de Ser a qual nunca me abandonou, bastanto me silenciar para escutá-la.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer a uma das pessoas mais importantes da minha vida e a quem Deus me deu a oportunidade de conhecer no ITA: minha namorada, Anna Flávia. Com um sorriso vibrante e uma simpatia enorme de quem carrega consigo o sentimento de amor, esta mulher tem sido minha mãe nas situações em que eu careci de um colo, minha amiga, ao compartilhar longas conversas e minha amante, ao dividir momentos carinhosos por todos esses anos. Estou certo de que ela foi um grande anjo colocado por Deus em minha vida.

Também agradeço a meus pais. Devo tudo a eles, desde minha existência até a formação do meu caráter. Incrível ver como me tornei parecido com eles, mesmo pensando que isso nunca aconteceria.

Gostaria de agradecer também a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa caminhada no ITA. Elas são os professores, amigos e colegas, funcionários da administração do ITA e do H8, bem como as mulheres abençoadas que todas as semanas deixavam meu quarto e minha roupa limpos para que eu os usasse.

Por fim, meu agradecimento especial vai para o ente que engloba a todos a quem eu já agradeci nos parágrafos anteriores. Este ente, infelizmente, anda muito mal falado ultimamente devido aos problemas econômicos, sociais e políticos pelos quais estamos passando: meu

querido país, o Brasil. Eu gostaria de dizer que sou infinitamente grato ao Brasil por tudo o que ele tem me dado: a querida cidade de Fortaleza; minha família; ótimas escolas públicas; uma ótima faculdade; alimentação gratuíta no ITA; um sistema de saúde que, apesar de não funcionar muito bem, já me tirou de diversas enrrascadas; lugares com natureza exuberante de muita beleza. Enfim, mesmo tendo viajado por alguns diversos países do mundo, mais desenvolvidos, com menores índices de corrupção e até mesmo com visuais incríves, posso afirmar que nenhum se compara a este país continente chamado Brasil. Aqui eu nasci, aqui eu quero morrer.

Obrigado Brasil!



## Resumo

O desenvolvimento sustentável é um dos temas mais discutidos atualmente. Não para menos, a humanidade tem experienciado um enorme crescimento econômico e populacional, o que leva ao aumento exponencial da produção de bens e serviços e que, consequentemente, tem ocasionado o esgotamento crescente dos recursos naturais. Assim, como forma de manter a "roda girando" no sistema capitalista mundial, o progresso humano tem agora de se preocupar com questões com as quais antes não se preocupava. Aí entra o desenvolvimento sustentável.

É nesse contexto que se situa também o tema abordado no presente trabalho: Arquitetura Sustentável. Busca-se aqui descrever e analisar algumas soluções arquitetônicas sustentáveis propostas por Alison Kwok em seu livro *The Green Studio Handbook* [1]. Tais soluções são metologias idealizadas com o intuito de se utilizar meios não poluidores e renováveis em aplicações cotidianas em residências – *Telhados Verdes, Tubos Geotérmicos*, entre outros.

As análises feitas englobam, além da descrição de cada solução, adaptações para o contexto brasileiro – visto que foram utilizadas as normas brasileiras em substituição às normas americanas utilizadas na bibliografia. Além disso, como resultados práticos do trabalho, foram produzidas ferramentarias que fornecem meios de cálculo para cada solução.

Por fim, a última seção mostra a aplicação das soluções arquitetônicas a um caso concreto em São José dos Campos: o Projeto Habitas.

# **Abstract**

Sustainable development is one of the most discussed issues today. Not least, humankind has experienced tremendous economic and population growth, which has led to an exponential increase in the production of goods and services and, consequently, has caused the growing depletion of natural resources. Thus, as a way to keep the "spinning wheel" in the world capitalist system, human progress now has to worry about issues that it did not care about before. This is where sustainable development comes in.

It is in this context that the theme addressed in the present work is located: Sustainable Architecture. The aim of this paper is to describe and analyze some of the sustainable architectural solutions proposed by Alison Kwok in her book *The Green Studio Handbook*. Such solutions are methods idealized with the purpose of using non-polluting and renewable means in everyday applications in homes - *Green Roofs*, *Geothermal Tubes*, among others.

The analysis includes, in addition to the description of each solution, adaptations to the Brazilian context - since the Brazilian standards were used instead of the American norms used in the bibliography. In addition, as practical results of the work, tools were produced that provide calculation means for each solution.

Finally, the last section shows the application of a particular solution to a real case in São José dos Campos: the Habitas Project.

# Lista de Figuras

Figura 1 - Ilustração da absorção e liberação de calor em uma residência. Adaptado de (KWOK;
A. G, 2007)19
Figura 2 - Ilustração do processo de resfriamento por tubos geotérmicos. Adaptado de (KWOK;
A. G, 2007)20
Figura 3 - Sistema de Células Fotovoltáicas. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007)23
Figura 4 - Ilustração de um sistema de geração eólica. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007)24
Figura 5 - Planta Térreo Casa Niemeyer
Figura 6 - Lajes Teóricas da <i>Casa Niemeyer</i> 32
Figura 7 - Lajes Teóricas e seus Engastes
Figura 8 - Estimativa da Capacidade de Armazenamento de Massa Térmica. Adaptado de
(KWOK; A. G, 2007)
Figura 9 - Estimativa da percentagem de calor da massa térmica suscetível ao resfriamento.
Adaptado de (KWOK; A. G, 2007)40
Figura 10 - Máxima diferença entre as temperaturas da ventilação e da massa térmica. Adaptado
de (KWOK; A. G, 2007)41
Figura 11 - Ábaco para o Dimensionamento de Tubos Geotérmicos. Adaptado de (KWOK; A.
G, 2007)44
Figura 12 – Disposição correta das turbinas de geração eólica. Adaptado de (KWOK; A. G.
2007)52
Figura 13 – Principais resultados do dimensionamento da Laje 5
Figura 14 – Vazão Característica de Aparelhos Domésticos. Adaptado de (NBR 12296;1992)
56

Figura 15 – Dados Climáticos de São José dos Campos. Adaptado de (METEOBLUE; 2019).
57
Figura 16 - Planilha de Cálculo da Variação Média Diária de Temperatura ( $T2$ ) em São José
dos Campos
Figura 17 - Dados Climáticos de São José dos Campos. Adaptado de (METEOBLUE; 2019).
59
Figura 18 – Planta baixa da <i>Casa Niemeyer</i> , piso térreo
Figura 19 – Planta baixa da <i>Casa Niemeyer</i> , piso superior60
Figura 20 – Dados de Nebulosidade de São José dos Campos. Adaptado de (Weather Sparks,
2019)64
Figura 21 – Radiação Solar Diária Média de Ondas Curtas em São José dos Campos. Adaptado
de (Weather Sparks, 2019).
Figura 22 – Distância entre a <i>Casa Niemeyer</i> e o Aeroporto de São José dos Campos. Adaptado
de (MAPS; Google, 2019)67

# Sumário

1	INT	RODUÇÃO	13
1.1		Motivação	13
1.2		Objetivo	14
1.3		Escopo	15
2	REV	VISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1		Telhados Verdes	17
2.2		Aquecimento de Água por Luz Solar	18
2.3		Ventilação Noturna	18
2.4		Tubos Geotérmicos	19
2.5		Células Solares	22
2.6		Geração Eólica	23
3	ME'	TODOLOGIA	2€
3.1		Telhados Verdes	26
3.1	.1	Procedimentos de Cálculo	26
3.1	.1.1	Cálculo da Carga devida ao Telhado Verde	27
3.1	.2	Dimensionamento da Laje	29
3.2		Aquecimento de Água por Luz Solar	36
3.2	2.1	Procedimentos de Cálculo	36
3.2	2.1.1	Dimensionamento por Kwok	36
3.2	2.1.2	Dimensionamento - Soluções de Mercado [12]	37
3.2	2.2	Construção e Orientação de Uso da Planilha	38
3.3		Ventilação Noturna	38
3.3	3.1	Procedimentos de Cálculo	38
3.3	3.2	Construção e Orientação de Uso da Planilha	41
3.4		Tubos Geotérmicos	42
3.4	1.1	Procedimentos de Cálculo	42
3.4	1.2	Construção e Orientação de Uso da Planilha	44
3.5		Células Solares	45
3.5	5.1	Procedimentos de Cálculo	45
3.5	5.2	Construção e Orientação de Uso da Planilha	49
3.6		Geração Eólica	49
3.6	5.1	Procedimentos de Cálculo	49

3.	3.6.2 Construção e Orientação de Uso da Planilha	
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1	Telhados Verdes	53
4.2	Aquecimento de Água por Luz Solar	55
4.3	Ventilação Noturna	57
4.4	Tubos Geotérmicos	58
4.5	Células Solares	62
4.6	Geração Eólica	67
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

Uma das palavras mais presentes no dicionário popular atualmente é a sustentabilidade. Estampada em ações de marketing de empresas, como princípio a ser seguido em companhias e até mesmo como política de governo de alguns países, a sustentabilidade é algo cada vez mais discutido e compreendido na sociedade contemporânea.

Não para menos, dados do último Relatório de Síntese sobre Mudanças Climáticas divulgado pelo IPCC ("Intergovernmental Panel on Climate Change") [2] mostraram fatos alarmantes:

- A temperatura média global na superfície da Terra e dos oceanos subiu  $0.85^{\circ}C$  entre 1880 e 2012, sendo que as últimas três décadas foram sucessivamente as mais quentes desde 1850.
  - Os oceanos estão 26% mais ácidos desde a primeira medição registrada.
  - O nível médio dos oceanos aumentou 19 cm entre 1901 e 2010.
- Aumentou, significativamente, o nível médio de precipitações nas latitudes médias do hemisfério norte.

Outra informação preocupante foi dada recentemente pela revista *National Geographic* em sua edição de 5 de junho de 2018 [3], onde revela que, a cada ano, 8 milhoes de toneladas de sacolas plásticas chegam aos oceanos, e que isso "é apenas a ponta do *iceberg*". Lixo esse que compromete fatalmente a vida marinha, tendo resultados diretos na alimentação humana advinda dessa fonte.

Ainda segundo o estudo do IPCC, se resultados concretos não forem atigindos para reduzir o impacto humano no meio ambiente, os efeitos à Terra, e consequentemente aos seres humanos, serão catastróficos. Efeitos como o degelo acelerado na região ártica, o aumento significativo da temperatura média cada vez mais rápido e a instabilidade do clima são esperados.

Portanto, em meio a essa problemática surge a necessidade de se conseguir reduzir os efeitos degradantes à natureza ao mesmo tempo em que a produção, o consumo e o bem estar social mantenham o patamar até agora atingido. Aí entra o desenvolvimento sustentável, definido como "o desenvolvimento capaz de suprimir as necessidades do presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprirem as próprias necessidades" (BRUNDTLAND, 1987).

No ramo específico da construção civil, cada vez mais soluções arquitetônicas e de engenharia estão sendo desenvolvidas a partir de conceitos sustentáveis. Esse setor é, ao mesmo tempo, um dos mais poluentes – devido ao desperdício de materiais, tratamento não adequado de resíduos sólidos, demanda excessiva de recursos energéticos, etc – e também um dos setores que mais tem sofrido investimentos em pesquisas para torná-lo ecologicamente correto [4]. Exemplos disso podem ser vistos no uso de materiais que agridem menos o meio ambiente; a diminuição do desperdício de materiais através do seu reuso, soluções de captação energética de fontes limpas e renováveis, como a fonte eólica e solar.

No contexto brasileiro, tal preocupação tem estado cada vez mais presente. O relatório *Leed in Motion: Brazil*, publicado pelo Conselho de Construção Sustentável dos Estados Unidos (USGBC – *U.S. Green Building Council*) [5], mostrou que o setor de construção sustentável cresceu enormemente na última década, com um aumento de 30% no número de construções com classificação *LEED* – programa de certificação sustentável lider mundialmente.

O relatório mostrou ainda que, apesar dos momentos turbulentos na história econômica no Brasil, o crescimento no número de registros para a certificação *LEED* é o mais forte em quase uma década, existindo, atualmente, 1114 projetos em vias de certificação no país. Como afirma Felipe Faria, diretor de gerenciamento da USGC, "o que está acontecendo no Brasil prova que a sustentabilidiade é o único caminho para a prosperidade".

Tendo em vista o alto grau de importância do assunto mundialmente e, em especial, a vanguarda alcançada pelo Brasil nesse cenário, o presente relatório abordará algumas análises sobre soluções arquitetônicas sustentáveis.

## 1.2 Objetivo

Aliado ao tema sustentabilidade, este trabalho busca analisar algumas soluções arquitetônicas de uso residencial, baseado na bibliografia de Alison G. Kwok e Walter T. Grondzik, *The Green Studio Handbook* [1]. As análises das soluções comportam definições e explicações das soluções, bem como comportam instrumentos analíticos de cálculo desenvolvidos para o uso cotidiano por arquitetos e engenheiros. Assim, para cada solução analisada, as metodologias fornecidas pelos autores são utilizadas para desenvolver ferramentas simples que permitem a aplicação direta da solução.

Além disso, a fim de se dar uma aplicação prática e poder contribuir ao meio acadêmico do ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – cada umas das propostas arquitetônicas foi aplicada ao projeto de construção sustentável Habitas. Tal projeto, segundo publicação em seu site, "consiste na reforma de duas edificações do campus do DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial), em São José dos Campos, e visa a comprovar as vantagens socioeconômicas de uma reforma sustentável em relação ao modus operandi atual da construção civil" [6]. Vale ressaltar que, nestas aplicações práticas, outros modelos espalhados pelo mercado também foram usados a fim de se comparar os métodos utilizados por Kwok, além de se ampliar o escopo das análises.

O projeto Habitas, como mencionado acima, comporta a reforma de duas edificações no campus do DCTA. Este trabalho aplicará as soluções arquitetônicas em somente numa dessas construções, qual seja a *Casa Niemeyer* [6]. Esta obra, realizada pelo arquiteto Oscar Niemayer, consiste em um conjunto habitacional composto por unidades geminadas, cujos dormitórios são dispostos na fachada principal, varandas em pilotis e jardins laterais. O projeto de reforma manterá o projeto arquitetônico original.

## 1.3 Escopo

A proposta de trabalho inicialmente consiste em analisar seis soluções arquitetônicas propostas por KWOK em seu livro. Tal analise é composta pela descrição de cada solução, das metodologias empregadas e dos resultados a serem alcançados. Além disso, para cada proposta arquitetônica são criados instrumentos analíticos de cálculo a fim de se permitir a sua aplicação prática em edificações residenciais.

A seguir, as seis soluções são aplicadas na residência *Casa Niemeyer*, de tal forma a analisar os efeitos sociais, ambientais e econômicos causados com o seu uso. Além disso, conclusões a respeito da viabilidade de implantação das soluções também são feitas para cada uma delas, bem como é feita a aplicação comparada das soluções com outros modelos existentes.

Portanto, considerada a perspectiva acima, o trabalho será estruturado da seguinte forma:

#### Capítulo 1 – Introdução

Esta seção tem como objetivo contextualizar o leitor ao tema sustentabilidade, apresentar a motivação para este trabalho e descrever sucintamente as atividades a serem realizadas.

### Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Descreve-se, neste tópico, as seis soluções arquitetônicas estudadas na bibliografia de KWOK.

## Capítulo 3 - Metodologia

Dando continuidade ao capítulo 2, a metodologia utilizada em cada solução é analisada, de forma a descrever os procedimentos analíticos desenvolvidos para a implementação das soluções.

## Capítulo 4 – Resultados e Discussões

Nesse capítulo é feita a aplicação de cada uma das propostas arquitetônicas na residência *Casa Niemeyer*. Análises dos resultados obtidos sob enfoque socioambiental e econômico são feitas neste tópico.

### Capítulo 5 – Apêndices

Contém todos os apêndices do trabalho. Em sua totalidade, são compostos pelas planilhas desenvolvidas para as soluções arquitetônicas.

### Capítulo 6 – Referências Bibliográficas

Apresenta a relação das fontes consultadas para a realização do trabalho.

# 2 Revisão Bibliográfica

Esta seção visa à análise e à descrição de seis soluções sustentáveis propostas por Kook em seu livro *The Green Studio Handbook*. A soluções são:

- Telhados Verdes
- Aquecimento de Água por Luz Solar
- Ventilação Noturna
- Tubos Geotérmicos
- Células Solares
- Geração Eólica

#### 2.1 Telhados Verdes

Telhado verde é o nome dado ao uso de "materiais verdes" – terra, plantas, árvores, entre outros – em construções, a fim de se obter benefícios como a retenção de água da chuva, a diminuição da variação térmica da construção e de seu entorno e o provimento de espaço verde para o uso de pessoas e animais. É um projeto arquitetônico cada vez mais usado em construções situadas em grandes cidades, principalmente por promover ambientes naturais para a convivência humana.

Telhados verdes podem ser divididos em dois tipos: extensivos e intensivos. O primeiro tipo se refere a telhados verdes com camadas de solo menos profundas, levando ao uso de plantas menores – que requerem menos solo para se desenvolverem. É, portanto, um design mais leve e que requer estruturas mais simples de suporte [1].

O segundo tipo é o oposto: telhados intensivos possuem uma camada de solo mais profunda, o que permite o plantio de plantas maiores e até árvores, mas que tem um peso mais acentuado. Essa modalidade de design, por ser mais pesada, requer estruturas mais sofisticadas para seu suporte.

Isto dito, os objetivos do estudo dessa solução são, primeiro, prover ferramentas de cálculo dos carregamentos devidos aos telhados verdes — o que será feito seguindo os procedimentos de Kwok - e, segundo, dimensionar a laje da *Casa Niemeyer* considerando esses carregamentos. Com isso, ao final, será possível fazer comparações com a estrutura da edificação no momento presente e evetualmente propor melhorias para a mesma.

Importante ressaltar que, além de usar os valores de carregamento encontrados através do procedimento de Kwok, também serão usados valores padrão de carregamento

para telhados verdes. Algumas referências indicam valores de  $60 \, Kg/m^2$  a  $150 \, Kg/m^2$  para telhados compostos por vegetações de pequeno porte [7]

## 2.2 Aquecimento de Água por Luz Solar

Dentre os vários usos da luz solar para o aquecimento térmico e iluminação, destaca-se a sua utilização para o aquecimento de água em edificações. Tais sistemas podem ser utilizados no aquecimento da água para uso doméstico, em piscinas térmicas, na ventilação (pré-aquecimento) e até mesmo como um sistema de calefação no aquecimento de espaços da edificação.

No caso particular desse trabalho, a aplicação do sistema de aquecimento será para tão somente o uso doméstico. Isto porque a edificação em análise é a *Casa Niemeyer*, uma residência situada em São José dos Campos - uma cidade de temperaturas médias quentes, o que dispensa o uso de calefação. Além disso, não é permitida a implantação de piscinas no local da residência, tendo em vista que a edificação está localizada em uma área militar com restrições de construção.

## 2.3 Ventilação Noturna

Alguns materiais utilizados em edificações têm significativa capacidade de armazenar calor, absorvendo a radiação solar durante o dia e liberando-a durante a noite. Tal característica, chamada de massa térmica, é muito importante para a manutenção do conforto térmico no interior do ambiente e deve ser levada em conta na escolha dos materias, distribuição dos cômodos, cálculo de aberturas e localização da edificação no terreno.

Como dito acima, a massa térmica armazena calor durante o dia e o libera durante a noite. Assim, dois fatores são essenciais para o êxito desse equilíbrio: a capacidade de armazenar quantidade de calor adequada durante o dia; e a capacidade de liberar calor suficiente durante a noite. A Figura 2 ilustra este processo.

Analisa-se, nesta seção, o segundo fator, isto é, a liberação de energia durante a noite sob a ótica da ventilação noturna. Especificamente, objetiva-se saber qual taxa de fluxo de ar é necessária durante a noite a fim de se manter a temperatura interna agradável; situada em uma faixa de conforto.

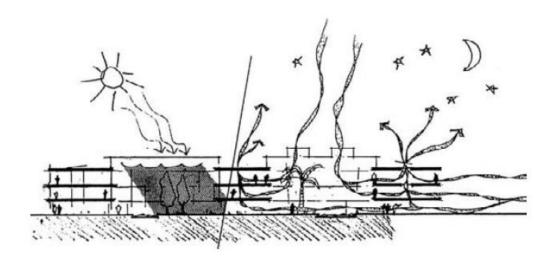


Figura 1 - Ilustração da absorção e liberação de calor em uma residência. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Importante destacar que o sucesso dessa estratégia depende sobremaneira do clima local. O ideal é se ter uma grande variação de temperatura do dia em relação a noite, de tal forma que a ventilação noturna seja capaz de compensar o calor armazenado pela massa térmica.

Por fim, resta saber que o objetivo dessa análise é saber qual taxa de ventilação noturna é necessária ao resfriamento da massa térmica existente, de tal forma a manter o conforto térmico no ambiente. Com isso, será possível ao arquiteto desenvolver estratégias sobre tamanhos de aberturas, distribuição de cômodos e até mesmo, se necessário, o uso de ventilação forçada para o resfriamento.

### 2.4 Tubos Geotérmicos

Tubos de resfriamento geotérmicos são tubos dipostos sob a terra, em uma profundidade conveniente, e que conectam o interior da edificação ao seu exterior, permitindo que o ar exterior adentre em suas dependências. Dessa forma, é possível fazer com que a temperatura do solo resfrie o ar transpassante pelo tubo e que posteriormente esse ar venha a resfriar o ambiente no interior da edificação. A Figura 2 mostra um esquema simplificado deste processo.

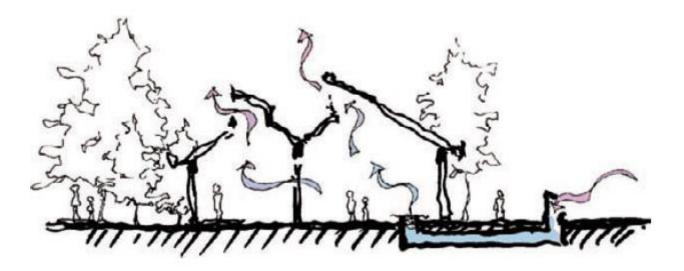


Figura 2 - Ilustração do processo de resfriamento por tubos geotérmicos. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Para que este sistema funcione adequadamente, é necessário haver uma significativa diferença de temperatura entre o solo e o ar exterior a fim de possibilitar o resfriamento. Além disso, é necessário também um comprimento adequado de tubo para o sistema.

Quanto aos tipos de sistema existentes, podem se destacar dois: sistemas de circulação aberta e sistemas de circulação fechada. No primeiro caso, o ar exterior entra por uma ponta da tubulação e sai pela outra ponta, situada no interior da edificação – esse sistema é o mostrado na Figura 1. Já em um sistema de circulação fechada, as duas pontas da tubulação se encontram no interior da residência, de tal forma que o ar entra em uma ponta, percorre o tubo enterrado em forma circular, e retorna à residência pela outra ponta.

Variações desse sistema podem ser obtidas adicionando-se um ventilador elétrico na ponta interior do tubo, de tal forma a forçar a entrada e saída de ar pela tubulação. Na verdade, esse tipo de variação é necessária ao sistema de circulação fechada, tendo em vista a pressão equivante nas duas pontas do tubo geotérmico.

Vale ressaltar que o sistema de resfriamento por tubos geotérmicos é uma alternativa para diminuir a carga térmica em residências a fim de torná-las mais confortáveis ao uso humano. Portanto, esse tipo de alternativa não tem como objetivo servir como um sistema de resfriamento intenso, assim como os sistemas condicionadores de ar mecânicos. Isso porque seriam necessários longos comprimentos de tubos enterrados em profundidades significativas para se obter um ar com temperatura muito baixa; e isso levaria a altos custos não viáveis.

Assim, se for o caso, é necessário também o desenvolvimento de alternativas de resfriamento mais potentes.

Outros comentários a respeito dos tubos geotérmicos são necessários. A começar pelo material que os constitui; estes, por estarem debaixo do solo, devem ser duráveis, resistentes a corrosão e de custo mais baixo – tendo em vista a necessidade eventual de longos comprimentos. Algumas opções sugeridas para este fim são o alumínio, o PVC e o polietileno de alta densidade. No entanto, tendo em vista o provável solo ácido existente no local de implantação (em geral em solos tropicais têm acidicidade acentuada [8]), o material alúminio ficaria sujeito à corrosão, o que prejudicaria o sitema.

Com relação ao PVC, apesar de ser um material leve e econômico, há alguns problemas. Primeiro, por ser um plástico rígido, tal material tem a tendência de ser quebradiço, o que leva a ser necessário o uso de materiais de preenchimento para tornálo mais flexível – e aí vem um outro problema que é a possível ação de fungos nesses componentes de preenchimento. Um segundo problema no uso do PVC é a sua fragilidade quanto às cargas de solo: carregamentos de 1 a 2 metros de profundidade de solo poderia danificar o material. Porém, este empecilho poderia ser resolvido com o uso do PVC geomecânico – material mais resistente a cargas mecânicas.

Por último, o polietileno de alta densidade é a melhor recomendação para o sistema: é uma material flexível, resistente à corrosão e a cargas mecânicas moderadas. Não obstante, seu uso ficaria prejudicado por conta de seu alto custo.

Outro fator importante é o diâmetro dos tubos. Valores maiores de diâmetro têm a vantagem de permitirem um fluxo maior de ar; porém requerem um comprimento maior de tubo para o seu resfriamento, já que quanto maior o diâmetro, mais o ar tende a não tangenciar a superfície do tubo, dificultando o resfrimento.

Aliás, esse é o objetivo da presente solução arquitetônica: dimensionar o comprimento de tubo geotérmico necessário ao resfriamento de acordo com as condições locais. Dentre estas condições, destacam-se:

- Condições do solo local.
- Profundidade a ser usada para a colocação do tubo.
- Outras condições específicas, tais como a presença de vegetação e grau de evaporação do ambiente.

Quanto a profundidade do tubo a ser usada, recomenda-se, no mínimo, o valor 1,8 m, a variar de acordo com o local e solo do ambiente [1].

Já em relação à temperatura do solo, apesar de ser variável a depender da região, é possível traçar algumas estimativas de acordo com a profundidade utilizada:

- De 6 a 30 m: 2 a 3 °C maior que a temperatura média anual do ar.
- De 0,5 a 3 *m*: A tempearatura é influenciada pelo ar ambiente e varia ao longo do ano.
- Menor que 0,5 m: A temperatura do solo praticamente se iguala a temperatura ambiente.

No presente trabalho, adota-se como temperatura do solo a temperatura do ambiente, tendo em vista que a profundidade a ser usada em projetos de arquitetura dificilmente ultrapassam os 3 m de profundidade. Como temperatura do ambiente, entenda-se a temperatura média de bulbo seco do ar exterior.

#### 2.5 Células Solares

Células fotovoltáicas (CF) são equipamentos capazes de gerar energia elétrica a partir da radiação solar. A corrente elétrica gerada pode ser utilizada em receptores diretamente, como também pode ser armazenada em baterias, e até mesmo convertida em corrente alternada para ser utilizada em residências ou fornecida a uma rede elétrica. Nesse último caso, empresas de distribuição, em algumas localidades, compram o que foi alocado na rede, gerando ganhos econômicos ao usuário.

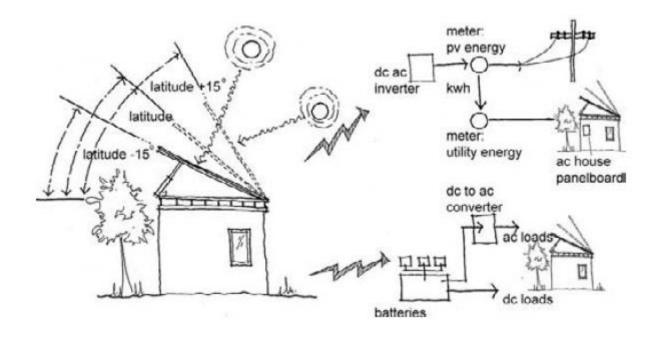


Figura 3 - Sistema de Células Fotovoltáicas. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Sistemas de geração de energia via células solares requerem investimentos iniciais significativos. Eles são mais vantajosos em localidades em que há incentivos ao uso dessa tecnologia, tais como a redução de tributos e a redução da tarifa de energia quando há a alocação do excesso na rede de distribuição. Dependendo da tarifa de energia cobrada pelas distribuidoras, um sistema de geração de energia via células solares pode levar de 10 a 30 anos para compensar o investimento caso não haja quaisquer incentivos monetários à sua utilização [1]. Por outro lado, em regiões com efetivos incentivos, tais sistemas podem vir a se pagar em menos de 4 anos.

Por fim, vale salientar a grande importância da orientação correta das células solares. Em residências situadas no hemisfério sul – como é o caso brasileiro – as células devem ter orientação ao norte, inclinadas de tal forma a receber a máxima radiação perpendicular possível. Perdas de radiação ocasionadas por má orientação das células podem ser impactantes na compensação de custos iniciais do sistema.

## 2.6 Geração Eólica

Turbinas eólicas produzem energia através de uma das fontes renováveis mais disponíveis no planeta: o vento. Na realidade, indiretamente, tal energia advém da radiação solar, tendo em vista que os diferentes níveis de aquecimento provocados pelo sol em diferentes partes da superfície terrestre ocasionam a diferença de pressão na atmosfera, impulsionando a formação dos ventos.

Sistemas de geração eólica podem reduzir drasticamente o custo de energia utilizada em uma edificação, especialmente em regiões com alta produção eólica – como é o caso do Brasil. Estima-se que sistemas de baixa produção – recomendados para uso em residências – fornecem de 20 *W* a 100 *kW* de potência, a depender da disponibilidade de ventos.

Cabe ressaltar, ainda, que em regiões onde a intesidade de ventos não seja alta, é possível implementar um sistema híbrido, composto por dois subsistemas: subsistema de geração eólica e subsistema de geração solar. Dessa forma, a demanda por fornecimento pode ser atendida. Neste trabalho, no entanto, o dimensionamento é feito apenas para o sistema eólico.

O sistema de geração baseia-se no mesmo princípio que a geração hidrelétrica; isto é, a energia cinética presente nos ventos é transformada em elétrica. Isto é feito através da rotação das lâminas da turbina eólica que, conectada a um gerador, converte o movimento dos ventos em energia elétrica. Portanto, a capacidade de geração de um sistema como esse depende drasticamente da velocidade média dos ventos na região da edificação.

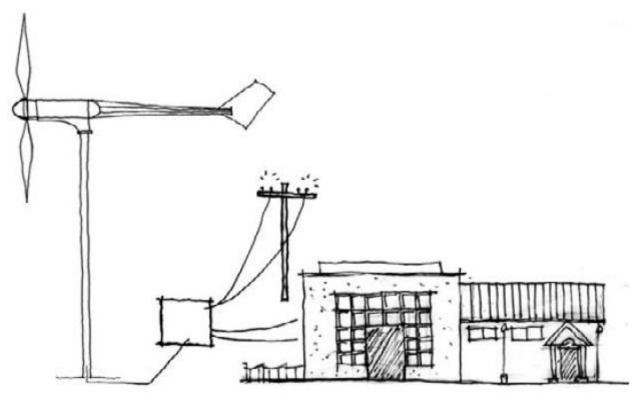


Figura 4 - Ilustração de um sistema de geração eólica. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Quanto a esse quesito de velocidade, um componente do sistema é forte influenciador do mesmo: a torre de sustenção. Isso pois a velocidade do vento aumenta cubicamente com a altura. Dessa forma, é possível obter bons resultados até mesmo em localidades onde a intensidade de ventilação não seja alta, bastanto para tanto a regulação da altura da torre.

Uma ideia comumente utilizada, a fim de se economizar na torre de suporte, é de se colocar o rotor do sistema sobre o telhado da edificação. Apesar de engenhosa, tal solução é amplamente não recomendada, visto que a giração das hélices do rotor poderia causar danos estruturais a edificação, bem como os ruídos gerados pela mesma causariam desconfortos sonoros aos usuários.

Em relação aos componentes do sistema, os usualmente utilizados são: lâminas de giração, gerador elétrico (necessário à conversão de energia), "rabo" direcionador (utilizado para direcionar as lâminas na posição perpendicular à propagação do vento), torre de sustentação e componentes elétricos, tais como controladores, inversores e baterias.

As baterias são necessárias para o armazenamento de energia em excesso produzido a fim de ser aproveitada em períodos sem geração. Uma outra alternativa seria a alocação dessa energia em excesso no sistema de distribuição de energia da cidade, a fim de se obter créditos junto a empresa. Dessa forma, ao demandar por energia em períodos não producentes pelo sistema eólico, é possível utilizar o sistema externo a um custo menor. Obviamente, poucos são os casos no Brasil em que distribuidoras de energia dispôem dessa possibilidade.

# 3 Metodologia

Prosseguindo, este capítulo visa à descrição dos procedimentos de cálculo utilizados em cada solução para a efetiva implementação das mesmas em residências ecológicas. Na verdade, os procedimentos aqui descritos são são voltados à aplicação prática na residência *Casa Niemeyer*. Dessa forma, a metologia estudada é utilizada para se chegar aos resultados obtidos no capítulo seguinte.

Ainda, ao fim da análise de cada solução é descrita a construção das planilhas de cálculo utilizadas, bem como são dadas orientações de como usá-las.

### 3.1 Telhados Verdes

#### 3.1.1 Procedimentos de Cálculo

Conforme explicado no ítem *Revisão Bibliográfica*, o carregamento devido ao uso de telhados verdes será o calculado através dos procedimentos de Kwok, bem como os encontrados em referências de mercado. Isso é feito a fim de se comparar a solução teórica com soluções existentes, além de servirem como possíveis alternativas, caso o valor teórico encontrado não satisfaça as condições de capacidade da estrutra da *Casa Niemeyer*.

Em relação ao cálculo do carregamento seguindo os preceitos de Kwok, primeiramente se faz necessário saber quais são os objetos a ocuparem um telhado verde. Basicamente, há três tipos de cargas a se considerar: plantas, solos e materias diversos de telhados verdes (bancos, mesas, etc) [1].

As Tabelas 1 e 2 abaixo contém, respectivamente, as massas específicas dos mais diversos tipos de materiais a serem usados e a profundidade de solo necessário para cada tipo de planta. Tais valores são tidos como referência futura no uso da planilha *Cálculo da Carga Distribuída em Telhados Verdes* (Apêndice A).

Tabela 1 – Massas específicas de alguns materias. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Material	Seco (kg/m³)	Molhado (kg/m³)
Areia ou Cascalho	1440	1929
Aparas de Cedro	149	209
Musgo de Turfa	154	166
Compostos e Aparas	2387	357
Húmus de Casca de Pinheiro	357	535
Perlita	104	521
Solo Superficial	1216	1248

Tabela 2– Espessura mínima de solo para alguns tipos de vegetação. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Vegetação	Profundidade Mínima de Solo
Gramados	200 - 300 mm
Flores e Coberturas de Solo	250 - 300 mm
Arbustos	600 - 750 mm
Árvores Pequenas	750 - 1050 mm
Árvores Grandes	1,5 - 1,8 m

Alguns parâmetros de cálculo são necessários para o projeto de telhado verde (serão analisados no tópico seguinte):

- i. Dimensões das áreas de plantio.
- ii. Tipo de vegetações presentes em cada área (bioma local).
- iii. Telhado usado ou não por pessoas.
- iv. Relação dos objetos a serem usados no telhado verde (bancos, mesas, etc).

A seguir, descrevem-se os procedimentos usados para se calcular a carga distribuída em telhados verdes e as orientações de preenchimento da planilha desenvolvida, *Cálculo da Carga Distribuída em Telhados Verdes*, que está mostrada no Apêndice A . É importante destacar que os cálculos não levam em consideração a carga devida ao uso por humanos – isto é, os telhados verdes aqui dimensionados não podem ser usados por pessoas.

#### 3.1.1.1 Cálculo da Carga devida ao Telhado Verde

Primeiramente, o cálculo baseia-se no pressuposto de que pode haver diversas áreas com solos e vegatações diferenciados num único telhado. Tais áreas são denominadas, na planilha, de *Área 1, Área 2, Área 3 e Área 4*. Caso se queira uma quantidade maior de áreas, basta replicar as fórmulas já constituídas.

Para cada área, são definidos os tipos de vegetação presentes. Eles são:

- Grama.
- Flores e Coberturas de Solo.
- Arbustos.
- Árvores Pequenas.
- Árvores Grandes.

Definido isso, há dois tipos de carga: o devido à propria vegetação e o devido ao solo. Em relação a este último, a espessura é automaticamente calculada, pois já se tem o tipo de vegetação presente. Com isso, a carga é encontrada bastando multiplicar o volume pela densidade – considerada de  $1248 \ Kg/m^3$  [1].

As cargas devidas a cada tipo de vegetação foram assim estimadas:

#### Grama

Se houver grama na área, considera-se que esta possui altura de 10 *cm* e que está presente em toda a sua superfície (considerada não inclinada).

Portanto, o calculo da massa é:

$$M_{grama} = x \cdot y \cdot 0.1 \cdot d_{grama} \tag{1}$$

Onde x e y são as dimensões da área e  $d_{grama}$  é a densidade da grama, no valor de  $166 \ Kg/m^3$  [1].

#### Flores e Coberturas de Solo

Diferentemente da grama, caso haja esse tipo de vegetação, considera-se que esta esteja ocupando 20% do espaço. Além disso, estima-se uma altura média de 25 *cm* para essa vegetação. Assim, o cálculo da sua massa é:

$$M_{flores} = x \cdot y \cdot 0.25 \cdot 0.2 \cdot d_{flores} \tag{2}$$

Onde  $d_{flores}$  é a densidade das flores e coberturas de solo, no valor de 166  $Kg/m^3$  [1].

#### Arbustos

Aqui, é aproximada uma altura de 40 *cm* para os arbutos, com a mesma densidade da grama e com cobertura em 20% da área. Portanto:

$$M_{arbustos} = x \cdot y \cdot 0.4 \cdot 0.2 \cdot d_{arbustos} \tag{3}$$

## Árvores Pequenas

É necessário, antes de tudo, saber qual o volume médio de uma árvore de pequeno porte. Para isso, diversas considerações podem ser feitas, levando a resultados significativamente distintos. Nesse trabalho, prezou-se por uma solução um tanto quanto simples, mas que leva a bons resultados.

Considera-se uma árvore como uma Figura espacial prismática de base circular. Para árvores pequenas, estima-se que sua altura seja de 1,5*m* e que tenha um diâmetro de 15 *cm*. Com isso, seu volume é:

$$V_{\acute{a}rvore_{peq}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h = 0.027 \, m^3 \tag{4}$$

Levando em conta uma densidade média de árvore no valor de  $500 \, Kg/m^3$  [9], tem-se que a massa de uma árvore pequena é de:

$$M_{\acute{a}rvore_{peq}} = V_{\acute{a}rvore_{peq}} \cdot 500 = 13,25 \, Kg \tag{5}$$

Outra aproximação agora é feita com respeito a quantidade de árvores por  $m^2$  em uma área verde. Estima-se que este valor seja de uma árvore a cada espaço de 3x3 m. Assim, tem-se que a carga total devida a essa vegetação é de:

$$M_{\acute{a}rvore_{peq_{total}}} = M_{\acute{a}rvore_{peq}} \cdot x \cdot \frac{y}{9} \tag{6}$$

### Árvores Grandes

Por fim, o calculo da massa de árvores grandes em uma área verde se dá nos mesmos moldes que no caso de árvores pequenas, diferenciando-se somente nas dimensões do cilindro usado para representar a árvore – que agora possui altura de 4m e diâmetro de 70cm – e da taxa de frequência de árvores por  $m^2$  - que agora estima-se uma árvore grande a cada espaço de 4x4m. Portanto,

$$M_{\text{\'arvores}_{grandes_{total}}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h \cdot x \cdot \frac{y}{16} \cdot 500 \ kg/m^3 \tag{7}$$

Onde o valor de  $500 kg/m^3$  refere-se à densidade da madeira.

Além da vegetação, é preciso considerar outros objetos que porventura estejam presentes no telhado verde. São eles bancos, cadeiras, balaços, etc.

Na planilha é preciso, portanto, preencher, para cada área, as lacunas de dimensões e tipo de vegetação presente. Além disso, é necessário preencher o peso total devido aos outros objetos presentes – essa estimativa é devida ao projetista.

Por fim, o valor final de carga distribuída em  $Kg/m^2$  é dado no campo "Carga Total Distribuída".

#### 3.1.2 Dimensionamento da Laje

Já de posse dos carregamentos devidos ao telhado verde, o próximo passo é, então, dimensionar as lajes componentes da *Casa Niemeyer*. Isso, em termos práticos, significa encontrar um altura para as lajes, bem como calcular as suas taxas de armaduras principais e secundárias (positivas e negativas). Repare, pois, que o dimensionamento aqui feito é para com somente à flexão pura – isto é, não se dimensiona as armaduras transversais.

No entanto, as armaduras longitudinais são verificadas quanto a sua resistência ao cortante máximo.

Todo o dimensionamento é feito de acordo com a Norma Brasileira 6118 – Estruturas de Concreto Armado [10].

Primeiramente, seria necessário saber quais são as lajes componentes da edificação e quais as suas dimensões. No entanto, tais informações não estão diponíveis, já que não se tem os dados sobre a composição estrutural da residência. Assim, a fim de se ter uma estimativa teórica de estrutura da laje, faz-se uma possível distribuição de lajes. A Figura 5 mostra, em escala de 1:150, a planta-baixa da residência *Casa Niemeyer*; enquanto que a Figura 6 mostra, também em escala 1:150, a distribuição teórica das lajes na mesma. Essa distribuição (representada pela Figura 6) foi feita em uma tentativa de se manter os possíveis pilares "escondidos" nas paredes da edificação, bem como maximizar os vãos livres.

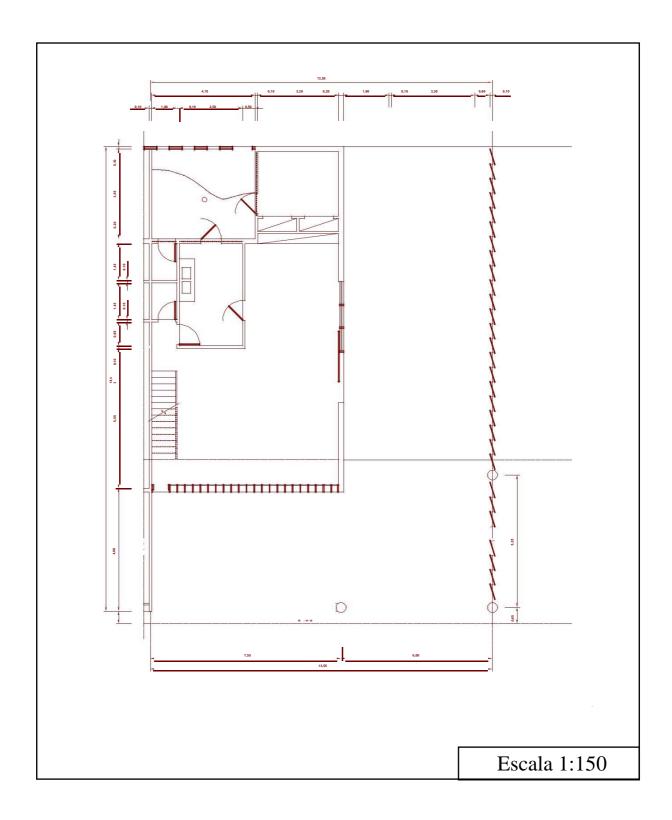


Figura 5 - Planta Térreo Casa Niemeyer

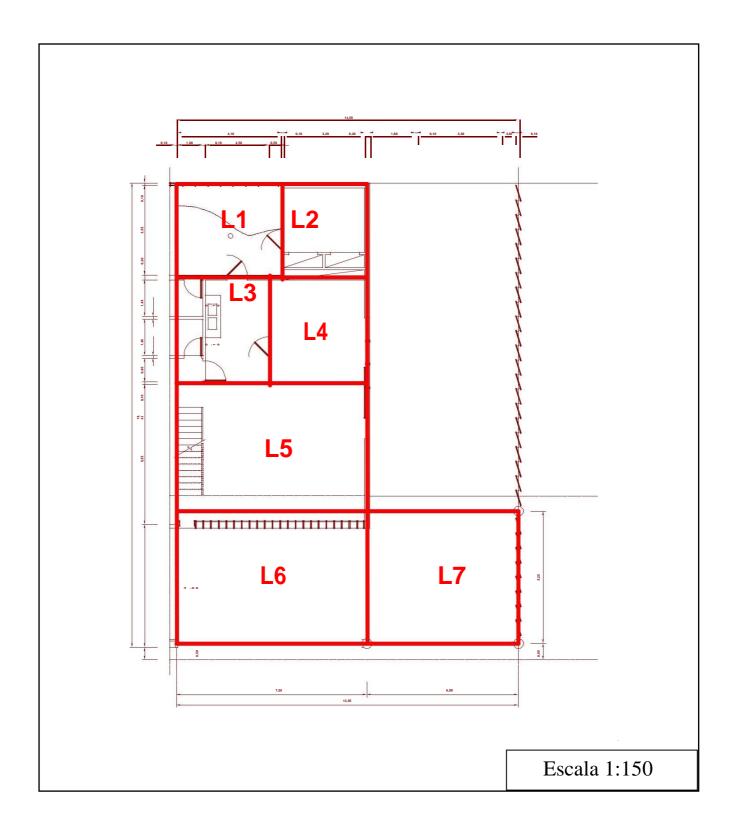


Figura 6 - Lajes Teóricas da Casa Niemeyer

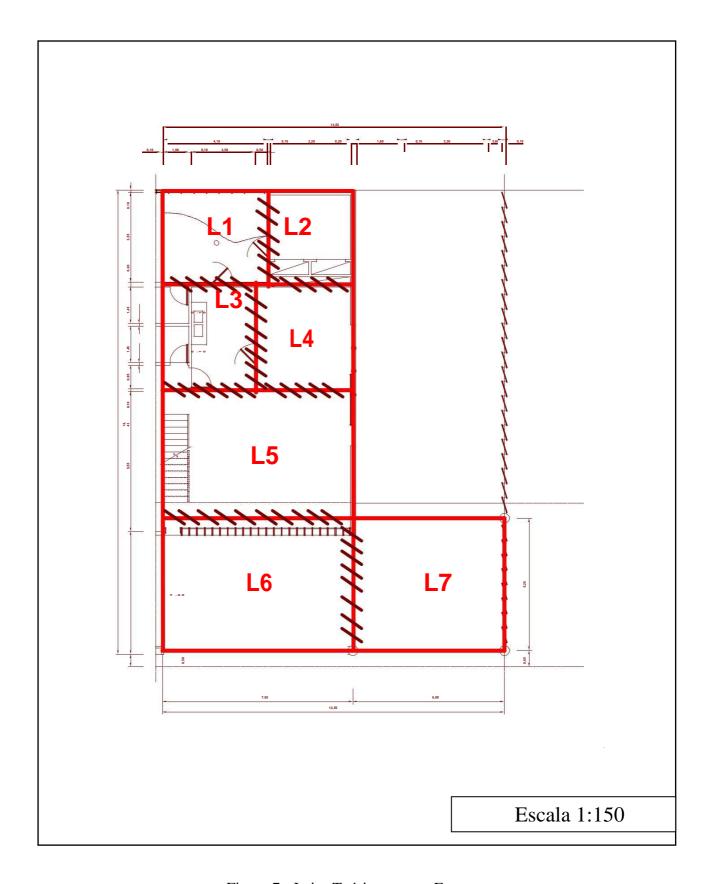


Figura 7 - Lajes Teóricas e seus Engastes

A Figura 7 acima mostra, através de traços diagonais, o engastamento das lajes. As arestas não rachuradas significam que o tipo de apoio às vigas é simples (livre).

As dimensões de cada laje são calculadas considerando suas projeções teóricas, isto é, considera-se que cada laje possui, além de sua dimensão real, também metade da espessura de cada parede tangente em seus apoios. Tais valores são (em coordenadas x e y):

Laje 1

 4,20 m x 3,70 m
 Laje 5

 Laje 2

 7,85 m x 5,52 m
 Laje 6

 Laje 3

 7,55 m x 5,25 m

 Laje 7
 Laje 7

Outros dados necessários ao dimensionamento são:

- Tipo de Aço: CA 50
- Resistência Característica do Concreto à Compressão (Fck): 30 MPa
- Altura da laje: Inicia-se pelo mínimo permitido pela norma (7 *cm*) e aumenta-se gradualmente até cumprir os requsitos de *Estados Limites*.
- Carregamentos: São os devidos ao peso próprio do concreto cuja densidade toma-se por  $2500 \, Kg/m^3$  e ao peso do telhado verde.

Assim, de posse dos dados de entrada, é possível se fazer o dimensionamento seguindo os preceitos da Norma NBR 6118. Isso é feito através do uso do *Software MS Calc* [11]– programa para dimensionamento de estruturas de concreto armado.

Com esse programa, o dimensionamento é feito variando-se de 1 cm em 1 cm a altura da laje, a começar com a altura de 7 cm, até que se encontre valores viáveis de taxas de armaduras principal e secundária capazes de suportar os carregamentos. Além disso, entenda-se por viabilidade de taxas de armaduras também o fato de existirem bitolas comerciais próximas ao teórico calculado, bem como o fato de ser possível o seu posicionamento no interior da laje.

Ao invés de dimensionar cada laje – o que levaria a diversas soluções diferentes de alturas e bitolas – optou-se por apenas dimensionar a laje crítica da estrutura. Isso significa fazer os cálculos para a "laje problema", isto é, a laje com piores condições de

contorno – dimensões dos vãos livres e engastamento - e que leva a maiores taxas de armadura.. O resultado do dimensionamento para esta laje é estendido as demais lajes, estando, com isso, a favor da segurança.

Com este raciocínio, verifica-se que a laje crítica da estrutura é a Laje 5, já que os valores de suas dimensões são os maiores – tanto na direção x como na direção y – e possui apenas dois lados engastados – note que há lajes com apenas um lado engastado, porém suas dimensões de vãos livres são muito menores, o que faz que a laje 5 seja, de fato, a crítica.

# 3.2 Aquecimento de Água por Luz Solar

Serão analisados dois tipos de metodologias de dimensionamento para esta solução: o tipo proposto por Kwok e o tipo utilizado em algumas soluções padrão de mercado pesquisadas. A primeira metodologia segue a tendência de simplificação caracterísitca de Kwok, enquanto que a segunda segue um modelo de cálculo um pouco mais elaborado para o dimensionamento e que está presente na maioria dos projetos de aquecimento.

#### 3.2.1 Procedimentos de Cálculo

### 3.2.1.1 Dimensionamento por Kwok

No aquecimento de água para o uso doméstico, Kwok simplifica bastante os cálculos ao afirmar que a área dos coletores solares devem variar de  $0.9 a 1.8 m^2$  de superfície para cada pessoa a utilizar o sistema. A escolha apropriada nessa faixa de valores tem de levar em consideração, principalmente, a disponibilidade média de radiação solar. Na planilha, utiliza-se  $1.8 m^2$  para radiação baixa;  $1.3 m^2$  para radiação média; e  $0.9 m^2$  para radiação alta.

Como a definição de radiação baixa, média e alta é algo subjetivo, o sistema será dimensionado utilizando-se o três índices. Assim, posteriormente será possível comparar os resultados dessa metologia com a metologia usual de mercado (explicada no próximo ítem).

A estimativa do volume necessário para o tanque de armazenamento tem como base atender a demanda e evitar o superaquecimento em dias com alta radiação. Recomenda-se o uso de 61 a 82 L para cada metro quadrado no coletor por pessoa no caso de aquecimento doméstico.

Adota-se, neste trabalho, o valor de 61 *L* para radiação baixa; 70 *L* para radiação média; e 82 *L* para radiação alta. Da mesma forma que já comentado, serão analisados os três índices de radiação.

### 3.2.1.2 Dimensionamento - Soluções de Mercado [12]

O procedimento a ser descrito é o utilizado em uma ampla gama de soluções de aquecimento de água por luz solar no mercado. A referência principal usada é o procedimento descrito pela empresa Alto Qi [12], em seu *website;* no entanto, tal procedimento é comum a diversos projetos de dimensionamento de tanques de água aquecida por energia solar.

O procedimento inicia com o cálculo do volume de consumo diário de água quente na residência. Isso é feito através de:

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \cdot T_u \cdot frequência de uso)$$
 (8)

Onde  $V_{consumo}$  é o volume consumido diariamente, em L,  $Q_{pu}$  é a vazão da peça de utilização (torneiras, chuveiros, etc), em L/min,  $T_u$  é o tempo médio diário de utilização da peça, em min, e a frequência de uso se refere a frequência diária de uso de cada peça.

O próximo passo é calcular o volume do tanque de armazenamento. A equação (9) é apta a fazer isto:

$$V_{armaz} = V_{consumo} \cdot \frac{(T_{consumo} - T_{ambiente})}{T_{armaz} - T_{ambiente}}$$
(9)

Onde  $V_{armaz}$ , em  $m^3$ , é o volume do tanque de armazenamento,  $T_{consumo}$  é a temperatura de sáida nos aparelhos, em °C; sugere-se o uso de  $40^{\circ}C$ .  $T_{armaz}$  corresponde a temperatura de armazenamento da água no tanque e  $T_{ambiente}$  é a temperatura média anual no local de utilização do sistema, ambas as temperaturas em °C.

Por fim, calcula-se a área das células coletoras de energia solar. Para tanto, primeiro obtém-se a demanda de energia útil ( $E_{\text{útil}}$ , em kWh/dia), isto é, a demanda de energia que de fato será utilizada na residência depois de se descontarem as perdas de energia por ineficiência do sistema. A equação (10) resulta na demanda de energia útil.

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{armaz} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{armaz} - T_{ambiente})}{3600}$$
 (10)

Na expressão,  $\rho$  é a massa específica da água – no valor de  $1000 \, Kg/m^3$ -  $C_p$  é o calor específico da água – valendo  $4,18 \, KJ/Kg$ .

Posteriomente, obtém-se, de fato, a área das células solares:

$$A_{coletora} = \left(E_{\acute{u}til} + E_{perdas}\right) \cdot FC_{intal} \cdot \frac{4,901}{PMDEE \cdot I_g} \tag{11}$$

Onde  $I_g$  é valor da irradiação média anual no local de utilização;  $E_{perdas}$  é o somatório das perdas de calor no sistema – usa-se o valor de 0,15 x  $E_{\acute{u}til}$ ; PMDEE é a produção média diária de energia específica do coletor solar (kWh/dia). Coletores padrão fornecem, para esta variável, algo em torno de 3,2  $kWh/m^2$  [13].

 $FC_{instal}$  é o fator de correção devido à inclinação das células solares de acordo com a localização da cidade em relação ao sol. Considera-se, por questões de segurança, o maior valor para este índice, qual seja  $FC_{instal} = 1,05$ .

# 3.2.2 Construção e Orientação de Uso da Planilha

A planilha *Cálculo da Área de Célula Solar e do Volume de Tanque de Armazenamento* (mostrada no Apêndice B) fornece os dois dados de dimensionamento: volume do tanque de armazenamento e área das células solares. A planilha possui duas abas: uma faz o cálculo de acordo com a metologia proposta por Kwok; a outra usa a metologia usual de mercado.

# 3.3 Ventilação Noturna

### 3.3.1 Procedimentos de Cálculo

Primeiramente, faz-se necessário o cálculo da capacidade de armazenamento de calor da massa térmica da edificação. Para isso, toma-se o ábaco da Figura 8 e, a partir da máxima temperatura média diária de bulbo seco  $(T_1)$  e a variação média diária de temperatura de bulbo seco  $(T_2)$ , obtém-se o valor procurado.

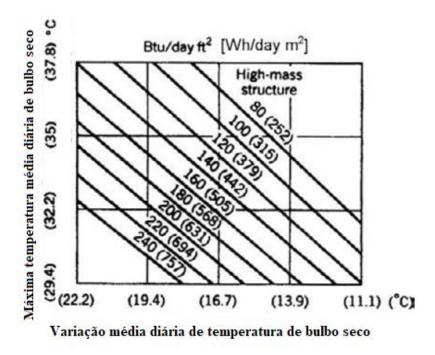


Figura 8 - Estimativa da Capacidade de Armazenamento de Massa Térmica. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

A fim de se determinar a taxa de fluxo de ventilação noturna, é necessário saber quanto do calor dessa massa térmica pode ser efetivamente resfriado. Em percentual, o valor pode ser estimado através do ábaco representado na Figura 9, o qual correlaciona a máxima temperatura média diária de bulbo seco  $(T_1)$  e a variação média diária de temperatura de bulbo seco  $(T_2)$ .

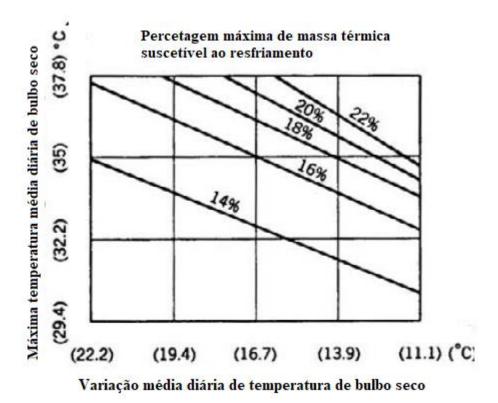


Figura 9 - Estimativa da percentagem de calor da massa térmica suscetível ao resfriamento. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Tem-se então a "quantidade de calor" que deve ser resfriada pela ventilação noturna. Falta, ainda, saber a diferença de temperatura entre a ventilação noturna e a massa térmica. Como esse dado é variável, o que se faz é usar a maior diferença de acordo com os parâmetros locais.

Isso é feito através do ábaco ilustrado na Figura 10 abaixo.

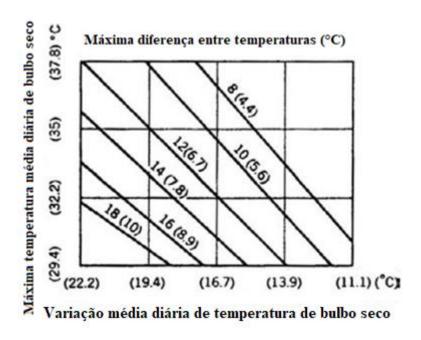


Figura 10 - Máxima diferença entre as temperaturas da ventilação e da massa térmica. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Portanto, com a quantidade de calor a ser retirada para uma determinada diferença de temperatura, é possível estimar a taxa de ventilação necessária ao resfriamento. Para isso, basta usar a fórmula seguinte [1]:

$$F = \frac{Q}{1, 1 \cdot \Delta t} \tag{12}$$

Onde F é o fluxo de ventilação noturna, em L/s, Q, em Wh/dia.  $m^2$ , é o calor a ser retirado do ambiente e  $\Delta t$  é a máxima diferença de temperatura entre a ventilação e a massa térmica.

### 3.3.2 Construção e Orientação de Uso da Planilha

Este instrumento fornece um aparato de cálculo para os procedimentos discutidos nos itens anteriores. Como tais procedimentos dependem do uso de ábacos – e, portanto, não possuem fórmulas analíticas de cálculo – o que se busca com a planilha é tão somente direcionar o usuário aos passos necessários ao cálculo do fluxo de ventilação noturna.

A planilha desenvolvida chama-se  $C\'{a}lculo$  do Fluxo de  $Ventila\~{c}\~{a}o$  Noturna (Apêndice C). Ela está dividida em cinco passos de preenchimento que devem ser feitos em ordem crescente. O primeiro passo pede que se forneça a maior temperatura média diária de bulbo seco da região  $(T_1)$  e a varia $\~{c}\~{a}$ o média diária de temperatura  $(T_2)$ .

Os passos dois a quatro se referem ao uso de ábacos que fornecem parâmetros específicos:

- Passo 2: Uso da máxima temperatura média diária de bulbo seco (T<sub>1</sub>)
   e a variação média diária de temperatura de bulbo seco (T<sub>2</sub>) para estimar a capacidade de armazenamento de calor da massa térmica da edificação.
- Passo 3: Consiste na determinação percentual da quantidade de calor que efetivamente pode ser resfriada da massa térmica. Tem como parâmetros de entrada a máxima temperatura média diária de bulbo seco  $(T_1)$  e a variação média diária de temperatura de bulbo seco  $(T_2)$
- Passo 4: Cálculo da maior diferença de temperatura entre a ventilação noturna e a massa térmica. Aqui também se usa como dados de entrada a máxima temperatura média diária de bulbo seco  $(T_1)$  e a variação média diária de temperatura de bulbo seco  $(T_2)$ .

Por fim, o passo cinco toma como dados de entrada o calor de massa térmica a ser resfriado (Q) e a máxima diferença de temperatura entre a ventilação noturna e a massa térmica  $(\Delta t)$ . Com isso, retorna o fluxo de ventilação noturna necessária, F.

### 3.4 Tubos Geotérmicos

#### 3.4.1 Procedimentos de Cálculo

O processo para o dimensionamento dos tubos geotérmicos segue o procedimento idealizado por Kwok. É um processo básico, excluindo diversas variáveis que poderiam intervir no dimensionamento; porém, fornece um valor de comprimento de tubo aproximado e que pode servir de base para posteriores refinamentos.

Tal método possui 6 partes, as quais são descritas a seguir.

### Profundidade de escavação do solo

O valor da profundidade de escavação para a colocação dos tubos geotérmicos é de 1,8 m. Esse valor é o recomendado por Kwok para projetos arquitetônicos em residências.

### Temperatura média do solo no verão

O dado de temperatura de solo utilizado é o de temperatura média no verão. Isso porque o dimensionamento é feito para o caso significativamente pior, que o é no verão.

Estima-se esse valor aproximando-o com a temperatura do ambiente; especificamente o valor de temperatura média de bulbo seco nos meses mais quentes do ano. Importante ressaltar que essa aproximação é coerente tendo em vista que a profundidade de escavação para a colocação dos tubos não é superior a 3 m.

# Temperatura do ar na saída do tubo

É a temperatura desejada para o ar que entra na edificação. Esse valor é livremente escolhido pelos usuários e será diretor no dimensionamento dos tubos.

Algo importante a ser dito é que o sistema aqui dimensionado pressupõe que todo o resfriamento do ar é feito tão somente por convecção no tubos; isto é, não se utiliza nenhum outro meio para o resfriamento. Sistemas assim não são tão recomendados em climas quentes por demandarem uma taxa de resfriamento muito alta.

### Condições de resfriamento do solo

Esse parâmetro diz respeito a capacidade de resfriamento do solo, isto é, a capacidade de transferência de calor da mistura de solo.

Os três tipos de mistura de solo considerados no procedimento de Kwok são:

- Mistura seca
- Mistura média
- Mistura molhada

A bibliografia não define características objetivas para se fazer tal classificação. Recomenda-se, na verdade, a utilização da experiência do arquiteto nessa análise.

### Estimativa da Carga de Resfriamento

A carga de resfriamento é baseada nas dimensões do ambiente a ser resfriado, bem como na quantidade de pessoas a utilizá-lo e a quantidade e tipos de aparelhos emissores de calor.

### Determinação do Comprimento do Tubo Geotérmico

Por fim, utiliza-se o ábaco representado na Figura 11 para se calcular o comprimento do tubo geotérmico necessário ao resfriamento. Os dados de entrada são a diferença de temperatura entre a temperatura do solo e a temperatura do ar que entra na edificação; e a carga de resfriamento do ambiente interior.

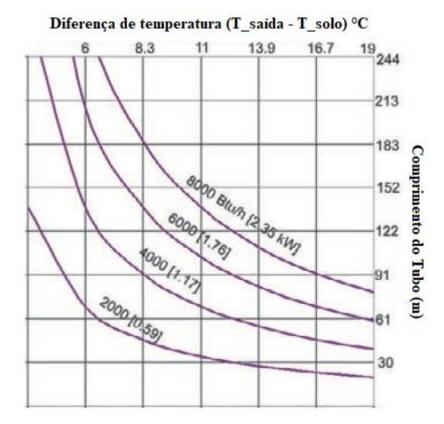


Figura 11 - Ábaco para o Dimensionamento de Tubos Geotérmicos. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

Importante dizer que o ábaco acima refere-se a um solo com características de resfriamento medianas, conforme classificação dada no item "Condições de Resfriamento do Solo". Para solos classificados como secos, o valor do comprimento do tubo calculado pelo ábaco deve ser multiplicado por dois — tendo em vista a menor capacidade de resfriamento do solo. Já para solos classificados como "molhados", o comprimento a ser utilizado é a metade daquele calculado pelo ábaco.

### 3.4.2 Construção e Orientação de Uso da Planilha

A planilha *Dimensionamento de Tubos Geotérmicos*, mostrada no Apêndice D, fornece um meio prático para o cálculo do comprimento de tubos utilizando o procedimento descrito no item anterior.

Nela, há basicamente dois grandes grupos de preenchimento, que são os "Dados de Entrada" e "Dimensionamento do Tubo". No primeiro grupo, preenchem-se os dados de temperatura média do solo no verão ("T\_Ground"), temperatura de saída do ar que vai para o interior da edificação ("T\_OutFlow"), a carga de resfriamento necessária ao

ambiente e, por fim, as condições de resfriamento do solo – as quais podem ser seco, médio ou molhado.

No segundo grupo, o projetista tem que utilizar os parâmetros de entrada já fornecidos para calcular o comprimento do tubo atráves do ábaco na Figura 11. Tal ábaco também encontra-se na planilha. Vale ressaltar que o valor de comprimento de tubo calculado é o considerado para solos com características médias de resfriamento. Para um solo seco, o comprimento deve ser o dobro; já para um solo molhado, o comprimento deve ser a metade. Esse valores já são automaticamente calculados no campo "Comprimento Final".

Há ainda uma segunda planilha, denominada *Cálculo de Comprimento de Tubos Geotérmicos*, confeccionada pelo professor doutor Paulo Ivo Braga Neto, ha qual se propôe a calcular analiticamente o comprimento de tubo necessário ao resfriamento de um determinado espaço. Esta ferramenta usa de artifícios de expansão analítica fornecidos pelo *Excel* para encontrar uma expressão de cálculo de comprimento de tubo a partir do ábaco da Figura 11. A equação (13) mostra a fórmula utilizada para esse cálculo.

$$L = 664, 46 \cdot \frac{C}{\Delta T} m \tag{13}$$

Onde C é a carga térmica a ser resfriada (kW) no ambiente em análise; 664,46 é uma constante numérica advinda da expansão analítica; e  $\Delta T$  é a diferença de temperatura entre a temperatura máxima de verão e a temperatura requerida de saída no tubo

### 3.5 Células Solares

#### 3.5.1 Procedimentos de Cálculo

A meta deste tópico é dimensionar um sistema de células fotovoltáicas para o abastecimento de residências, considerando que somente esse sistema é usado para o fornecimento de energia elétrica, isto é, sem a necessidade de fornecimento por distribuidoras de energia. Na verdade, em geral é mais viável – em termos financeiros e de segurança energética – o uso do sistema híbrido com a utilização do fornecimento de energia pelas distribuidoras.

## Sistema Isolado de Geração de Energia

Esse é o sistema que se propõe a abastecer completamente a residência; isto é, sem o uso da rede de distribuição externa. Nele, as células fotovoltáicas são responsáveis por

gerar a energia usada no abastecimento direto e para ser armazenada para uso futuro. O dimensionamento depende de fatores tais como a demanda de carga energética, o pico de geração de energia, demanda de energia em momentos sem geração, armazenamento, e o fator de segurança energética.

A seguir consta o procedimento para o dimensionamento. Tais passos seguem o proposto por Kwok em seu livro [1].

## 1. Estimativa da demanda energética diária

A demanda de carga energética diária pode ser estimada através da formulação (14) abaixo.

$$CED = \sum P \cdot H \tag{14}$$

Onde:

CED é a sigla para Carga Enérgética Diária (kWh).

P representa a demanda média (potência) de carga energética da residência utilizada pelos mais diversos equipamentos, eletrodomésticos, luminárias, etc. Esse valor é dado em kW.

 ${\cal H}$  é a quantidade de horas que cada componente da residência está em funcionamento diariamente.

## 2. <u>Determinação da carga energética de armazenamento</u>

A estimativa baseia-se no intervalo de tempo – em dias – em que há pouca ou nenhuma incidência solar durante um mês. Tal estimativa pode ser feita através do histórico climático da região, considerando um limite de radiação solar tal que abaixo desse valor considera-se que não há radiação.

Com isso, o total armazenado deve ser:

$$CA = (CED) \cdot (DBI) \tag{15}$$

Onde *CA* (Capacidade de Armazenamento) é a energia que necessita ser armazenada e *DBI* (Dias de Baixa Incidência) refere-se a quantidade de dias com baixa incidência solar e que, portanto, requerem energia advinda das baterias de armazenamento.

O número de baterias necessárias ao armazenamento pode ser obtido através da equação:

$$N = \frac{CA}{Volt \cdot Amp} \tag{16}$$

Onde,

N é o número de baterias.

*Volt* é a voltagem do sistema de baterias escolhido (*V*).

Amp é o valor do amper-hora (carga da bateria) da bateria escolhida (A. h).

### 3. Estimativa da Capacidade Energética Requerida

O sistema de células fotovoltáicas tem de ser capaz de fornecer eletricidade para atender a demanda diária de energia, bem como carregar as baterias de armazenamento a fim de serem utilizadas quando necessário – isso incluindo as noites e dias com pouca ou ausência de radiação.

A estimativa proposta por Kwok baseia-se na percentagem de dias em que há pouca radiação solar durante um mês para estimar o excesso de energia elétrica que deve ser armazenada. Nessa estimativa, não há contabilização direta da necessidade de armazenamento para as horas noturnas — em que não há radiação também — porque essa quantidade já está embutida na necessidade diária de energia elétrica calculada no item 1.

A fórmula proposta para a capacidade de energia requerida ao sistema diariamente é:

$$C = \left( \left( \frac{DBI}{RSD} \right) + 1 \right) \cdot (CED) \tag{17}$$

Onde,

 $\it C$  é a capacidade de energia requerida diariamente (kWh), considerando a ausência de radiação solar periódica.

DBI – Dias de Baixa Incidência Solar - é a quantidade de dias – durante um mês
 com baixa incidência solar e que, portanto, necessita do uso de energia advinda das baterias de armazenamento.

*RSD* (Radiação Solar Disponível) é a quantidade de dias – durante um mês - com radiação solar disponível ao armazenamento. Considerando que um mês possua 30 dias,

$$RSD = 30 - DBI \tag{18}$$

CED é, conforme já mencionado, a carga de energia requerida pela edificação diariamente.

# 4. Estimativa da Potência de Arranjo do Sistema e da Área das Placas

Neste item, estima-se a potência (em kW) do arranjo do sistema de células fotovoltáicas. Tal dimensionamento depende primariamente da radiação solar disponível na região da edificação; mas também sofre influência da inclinação das placas, a eficiência das mesmas e das perdas do sistema.

A bibliografia utiliza a equação (19) para isso:

$$PA = \frac{CED}{MPD} \tag{19}$$

Onde,

PA é a potência do arranjo (kW).

CED é a carga energética requerida pela edificação em um dia (kWh).

MPD é a média de produção diária do sistema por dia (kWh/dia).

O valor da variável *MPD*, apesar de depender de vários outros fatores – como por exemplo a inclinação e eficiência das placas – pode ser aproximado como uma variável dependente tão somente da radição solar disponível. Kwok recomenda o uso da faixa de 2,7 *kWh* a 5,5 *kWh* por dia, a depender da região da edificação.

De posse da potência do arranjo, é possível então estimar a área das células fotovoltáicas. Células solares padrão vendidas no mercado sugerem uma faixa de  $1,4 m^2 - 7 m^2$  de área para cada kW de potência do arranjo, a depender da eficiência da célula.

### 3.5.2 Construção e Orientação de Uso da Planilha

A planilha disponível juntamente com este trabalho, intitulada *Dimensionamento* de Células Solares, se dispõe a instrumentalizar o procedimento aqui proposto para o dimensionamento de células fotovoltáicas. Nela há dois grandes campos de informação chamados *Dados de Entrada* e *Dados de Saída*. Como o próprio nome já diz, dados devem ser colocados no primeiro a fim de resultar em saídas calculadas automaticamente.

Nos dados de entrada, é requerido o preenchimento das demandas energérticas dos componentes elétricos da edificação, bem como a quantidade média de horas utilizadas por eles durante o dia. Na planilha foram disponibilizados vinte campos de preenchimento para este fim; no entanto, caso haja mais de vinte componentes no sistema, basta adicionar mais campos, fazendo-se as atualizações necessárias nos cálculos.

Os demais campos de preenchimento foram previamente explanados nos itens anteriores. No entanto, cabe aqui um comentário sobre a variável *MPD* e a variável *Eficiência*. Conforme já dito, essas variáveis têm como valores uma faixa de aplicação a depender de certos fatores de influência. A variável *MPD*, na planilha, admite como valores 2,7 *kWh*, 4,1 *kWh* e 5,5 *kWh* para os casos de baixa, média e alta radiação solar na região da edificação. Já a variável *Eficiência* - que diz respeito a eficiência da célula solar escolhida – admite, na planilha, os valores de 1,4  $m^2$ , 4,2  $m^2$  e 7  $m^2$  para os casos de alta, média e baixa eficiência.

Posteriormente ao preenchimento dos dados de entrada, têm-se os dados de saída do dimensionamento, os quais são:

- CED: Carga Energética Diária.
- *CA*: O total de energia a ser armazenada em baterias.
- N: O número de baterias necessárias para o armazenamento.
- *C*: Quantidade energética requerida ao sistema, considerando a ausência de radiação solar periódica.
- *PA*: Potência do Arranjo.
- A: Área de superfície das células solares.

# 3.6 Geração Eólica

### 3.6.1 Procedimentos de Cálculo

Neste tópico, descreve-se o procedimento para a análise de viabilidade de implementação de um sistema de geração eólica de energia, bem como fornece-se um equacionamento simples para o diâmetro da turbina de geração.

Kwok enumera alguns passos para a análise e dimensionamento. A seguir, explana-se cada um deles:

### 1. Regras Locais

Primeiramente, há de se saber quais são as regras ordinatórias na localidade para a implementação do sistema. Comumente, governos locais possuem regras sobre:

- Área mínima do terreno.
- Altura máxima permitida à torre de suporte.
- Exigências de segurança aos motores.

### 2. Análise dos Ventos

A velocidade dos ventos e sua direção muda frequentemente, fazendo com que a capacidade de produção de energia através dessa fonte seja fortemente impactada por esses fatores. Assim, necessário se faz ter conhecimento significativo da velocidade média dos ventos durante o ano, bem como suas direções. Para tanto, alguns métodos podem ser usados:

• Análise, *in situ*, dos ventos no local da implantação durante um período significativo de tempo.

Essa é a forma "manual" de se fazer. Isto é, com a ajuda de equipamentos específicos, o projetista mensura a velocidade e direção do vento durante um período de tempo, normalmente de 3 meses a um ano.

Apesar de ser mais dificultoso, esse é um dos métodos mais confiáveis para a mensuração desses parâmetros.

• Utilização de um mapa de ventos da região

Este é o caso em que a região onde está localizada a edificação possui um mapa de ventos. Assim, tal documento fornece os parâmetros de interesse; mesmo que de forma estimada.

### • Dados de ventos de um aeroporto próximo

Todo aeroporto possui, em seus diretórios, dados de ventos da região onde está localizado – dado que informações dessa natureza são fundamentais para a sua operação. Portanto, em sendo a localidade da edificação próxima a algum aeroporto, basta tomar tais dados.

### 3. Estimativa da Necessidade Energética

Estima-se a necessidade energética da edificação para três períodos de tempos: necessidade diária, sazonal e anual; ambas necessidades medidas em sua média. Seria interessante uma base histórica de pelo menos três anos.

Com esses dados, o projeto da turbina é mais confiável – tendo em vista abranger diversos períodos com significativas diferenças – bem como servem para o dimensionamento das baterias.

### 4. Dimensionamento da Turbina Eólica

O Departamento Nacional de Eficiência Energética dos Estados Unidos [14] – departamento utilizado na bibliografia deste trabalho – sugere a equação (20) para o cálculo preliminar da performance de uma turbina eólica genérica:

$$SEA = 0,0051 D^2 V^3$$
 (20)

Onde:

SEA é a Saída Energértica Anual, em kWh/ano. É a quantidade de energia de saída do sistema e que, para fins de projeto, deve ser a mesma demandada pela edificação.

0,0051 é um fator de conversão utilizado pelo agente da pesquisa. Nele está incluso um coeficiente de eficiência do sistema genérico de geração eólica.

D é a medida do diâmetro do rotor, em m.

V é a velocidade média anual, em km/h.

Essa equação normalmente é usada para o cálculo preliminar do diâmetro do rotor da turbina. Nesse caso, a energia demandada pelo sistema é calculada de acordo com o uso da edificação durante o ano e a velocidade obtida conforme o item anterior.

## 5. <u>Alocação da torre</u>

Por fim, escolhe-se a localidade adequada para o posicionamento da torre. Tal escolha deve ser feita levando-se em consideração os obstáculos aos ventos, bem como seu correto direcionamento. Além disso, a parte inferior das hélices da turbina devem estar pelo menos 9 m acima de qualquer obstáculo situado até cerca de 90 m da torre; bem como tal altura deve aumentar proporcionalmente conforme o caminho direcional do vento. A Figura 12 abaixo esquematiza o que está sendo dito.

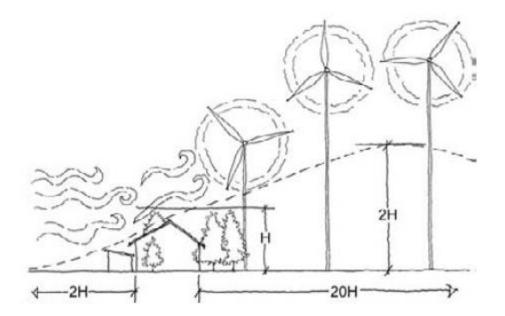


Figura 12 – Disposição correta das turbinas de geração eólica. Adaptado de (KWOK; A. G, 2007).

# 3.6.2 Construção e Orientação de Uso da Planilha

Não há necessidade de maiores comentários sobre a planilha que acompanha esta solução. O nome dela é *Dimensionamento Básico do Diâmetro de Rotor de uma Turbina Eólica*.

# 4 Resultados e Discussões

Esta seção visa à aplicação das soluções arquitetônicas na residência *Casa Niemeyer*. Uma por uma, as soluções são dispostas a seguir conforme a sequência de explanação até agora utilizada.

### 4.1 Telhados Verdes

A começar pelos resultados obtidos para o valor do carregamento devido ao telhado verde, tem-se:

- Carregamento obtido através da metologia de Kwok: 399,3  $Kg/m^2$
- Carregamentos padrão encontrados em projetos usuais de arquitetura [7]:  $60 \, Kg/m^2$  a  $150 \, Kg/m^2$  (vegetações de pequeno a médio porte)

O valor a ser usado para o carregamento comercial de telhado verde será a média da faixa descrita acima, isto é,  $105 \, Kg/m^2$ . Vale ressaltar que não se está considerando a possibilidade do uso da laje por pessoas.

Um breve comentário antes de se apresentar o dimensionamento, é que, comparando-se os valores de carregamento acima, percebe-se que o resultado obtido pelo método de Kwok – e com adaptações feitas neste trabalho – é bem maior que o "padrão" de mercado. O impacto dessa diferença será visto no dimensionamento das lajes.

Com relação ao dimensionamento, aplicam-se os valores dos dois carregamentos de telhado verde para a Laje 5 – laje crítica. A Figura 13 mostra os principais resultados do dimensionamento, quais são: as dimensões da laje; os valores de área de armadura nas direções principal e secundária, positivas e negativas; os valores de momentos fletores e as bitolas comercias recomendadas. Vale destacar que, no que tange às armaduras negativas, somente na direção x elas foram necessárias. Isto pois, a armadura negativa de tração é requerida somente na região do engaste — que é a direção x - e a armadura negativa de compressão foi requerida, segundo parâmetros de norma, somente nesta direção.

Carregamento - Telhado Verde (Kg/m²)	Altura (cm)	Comprimento $(y)(m)$ $(x)$ $(x)$ $(x)$	Largur a (x) (m)		Momentos Fletores Máximo (N.m)	es Máximo	(N.m)		Direção X - Área Positiva	Direção Y - Área Positiva	Direção XÁrea Direção YÁrea Direção XÁrea Positiva Positiva Negativa - Tração	Direção X - Área Negativa - Compressão
				Mx+	13190,9	-xJVI	-30357,1	Áreas de Armadura (cm²/m)	6'9	2,3	18,0	13,4
105	6	7,85	5,52	My+	4149,4	My-	0	Bitola CA50 e Espaçamento (cm)	Φ10 c/11	Φ8 c/18	Ф10 c/4	Φ8 c/3,5
								Taxa de Armadura (kg/m³)	235,0	78,3	613,1	456,4
				Mx+	45107,3	-хуу	-103808,2	Áreas de Armadura (cm²/m)	12,6	4,0	31,0	11,0
399,3	15	7,85	5,52	My+	14189,1	-ww	0	Bitola CA50 e Espaçamento (cm)	ζ'ζ/> 91Φ	Φ12,5 c/20	Φ16 c/6	Ф16 с/18
								Taxa de Armadura (kg/m³)	429,1	136,2	1055,8	374,6

 $Figura\ 13-Principais\ resultados\ do\ dimensionamento\ da\ Laje\ 5.$ 

Da Figura acima, percebe-se a significativa diferença entre a laje calculada com o carregamento de Kwok e a calculada com o carregamento padrão de mercado. Isso tem alta influência na aplicação aqui propostas (*Casa Niemeyer*), já que esta edificação provavelmente nao possui suporte ao carregamento suficientemente alto.

# 4.2 Aquecimento de Água por Luz Solar

A iniciar pelos resultados advindos da metologia proposta por Kwok, têm-se que os únicos dados de entrada necessários são a quantidade de pessoas a ocuparem a residência (*Casa Niemeyer*) e o nível de radiação no local da residência (baixo, médio ou alto). Novamente, como o nível de radiação é uma escolha subjetiva, faz-se a análise para os três níveis.

Considera-se que a *Casa Niemeyer* seja ocupada por 5 pessoas. Assim, a Tabela 3 mostra os resultados encontrados para a área dos coletores solares, bem como para o volume do tanque de armazenamento.

Tabela 3 – Dados de Radiação, Área dos Coletores e Volumes dos Tanques

	Método de Kwok	
Nível de Radiação	Área do Coletor Solar (m²)	Volume do Tanque (L)
Baixo	9	305
Médio	6,5	350
Alto	4,5	410

Na metologia usual de mercado, conforme comentando em itens anteriores, outros dados de entrada são requeridos. A começar pelo cálculo do volume diário de consumo de água quente, é necessário saber quais e quantos aparelhos de saída de água quente existem na residência, por quanto tempo são utilizados por cada usuário e por quantas vezes ao longo do dia.

Em relação aos aparelhos e as suas quantidades, a planta baixa da edificação revela que existem três lavatórios, dois chuveiros e uma pia de cozinha. O tempo médio de uso de cada aparelho combinado com a sua vazão característica (dado esse advindo da NBR 12269 [15], mostrado na Figura 14) e a frequência diária fornecem o consumo diário de água quente na *Casa Niemeyer* (Tabela 4).

Tabela 4 - Dados de Aparelhos da Casa Niemeyer

Aparelho	Qtde	Qpu(L/dia/pessoa)	Volume Parcial (L)
Chuveiro	2	80	800
Lavatório	3	5	75
Pia Cozinha	1	10	50
		<b>Volume Total (L)</b>	925

Região/País	Peça de utilização	Volume (l/dia)
Brasil (ABNT NBR 12 269)	Chuveiro	66 a 120
Brasil (ABNT NBR 12 269)	Lavatório	6 a 9,6
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Chuveiro	80
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Cozinha	10
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Lavatório	5

Figura 14 – Vazão Característica de Aparelhos Domésticos. Adaptado de (NBR 12296;1992)

Portanto, 925 L é o consumo diário de água na residência.

Seguindo, o volume do tanque de armazenamento - considerando a temperatura ambiente média de  $24^{\circ}C$ , a temperatura de armazenamento no tanque de  $50^{\circ}C$  e a temperatura de saída nos aparelhos de  $40^{\circ}C$  – é de 569,23 L.

A energia útil, dado os dados de entrada, assume o valor de 17,19 kWh/dia.

Por fim, a área dos coletores solares é calculada tendo por base que o índice de irradiação média anual em São José dos Campos é de  $4.2 \, kWh/m^2 dia$  [16]. Com isso a área encontrada é de  $7.56 \, m^2$ .

Abaixo há a comparação dos resultados encontrados de acordo com as duas metologias abordadas:

	Método de Kwo	k
Nível de	Área do Coletor	Volume do
Radiação	Solar (m²)	Tanque (L)
Baixo	9	305
Médio	6,5	350
Alto	4,5	410

Método U	sual de Mercado [15]
Volume do Tanque	(L) Área do Coletor Solar (m2)
569	,23 7,56

Vê-se, portanto, que as áreas das células são parecidas no nível de radiação baixo-médio, para o método de Kwok. Porém, nesse mesmo intervalo de radiação, os volumes dos tanques distoam, sendo mais parecidos ao se considerar um nível de radiação alto.

# 4.3 Ventilação Noturna

A aplicação dessa solução é feita na edificação  $Casa\ Niemeyer$ . Para tanto, seguindo o procedimento proposto por Kwok, é necessário saber qual a máxima temperatura média diária de bulbo seco  $(T_1)$  e a variação média diária de temperatura de bulbo seco  $(T_2)$ , ambas em São José dos Campos.

A partir de uma base histórica de 30 anos [17], a Figura 15 abaixo mostra os dados climáticos médios da cidade de São José dos Campos.

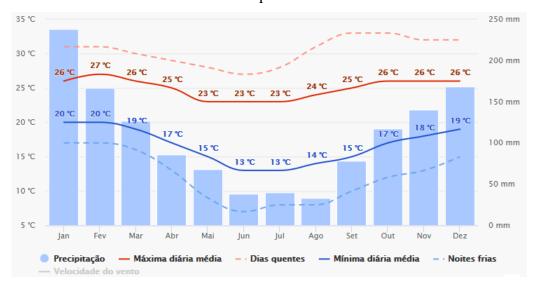


Figura 15 – Dados Climáticos de São José dos Campos. Adaptado de (METEOBLUE; 2019).

Vê-se, nesta Figura, que as temperaturas máximas médias diárias para os meses de janeiro a fevereiro estão destacadas em vermelho. Assim, o valor de  $T_1$ , isto é, o valor da temperatura máxima média diária é obtido tomando-se o máximo dessas variações, qual seja 27 °C. Já o valor da variação média diária de temperatura ( $T_2$ ) é conseguido fazendo-se a diferença entre as temperaturas máximas médias diárias (linha destacada em vermelho) e as temperaturas mínimas médias diárias (linha destacada em azul) e, posteriormente, tomando-se média aritmética dessas diferenças. A Figura 16 mostra a planilha utilizada para este cálculo, o qual fornece o valor de 8,33 °C.

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Mínima Diária Média (°C)	20	20	19	17	15	13	13	14	15	17	18	19
Máxima Diária Média (°C)	26	27	26	25	23	23	23	24	25	26	26	26
Variação (°C)	6	7	7	8	8	10	10	10	10	9	8	7
Variação Média Diária de	0.22											
Temperatura (°C) (T2)	8,33											

Figura 16 - Planilha de Cálculo da Variação Média Diária de Temperatura  $(T_2)$  em São José dos Campos

Portanto, 
$$T_1 = 27 \,^{\circ}C \, e \, T_2 = 8{,}33 \,^{\circ}C$$
.

De posse de tais valores e através do ábaco mostrado na Figura 10, obtém-se o valor do calor armazenado na estrutura da edificação, qual seja 379  $Wh/dia.m^2$  - na verdade, os valores de  $T_1$  e  $T_2$  não se encontram expressamente no ábaco, de tal forma que é necessário uma extrapolação do mesmo, tomando-se a reta mais próxima possível.

Prosseguindo, calcula-se o valor do calor passível de ser resfriado mediante ventilação noturna. Isso é feito através do ábaco expresso na Figura 11, o qual fornece a percentagem do calor passível de resfriamento: 14% (novamente aqui foi necessária a extrapolação do ábaco para a reta mais próxima). Esse percentual equivale a um valor de calor de  $56,06 \, Wh/dia. \, m^2$ .

A área total de interior de edificação da *Casa Niemeyer* é de 161,23  $m^2$ . Com isso, temse que o valor total de calor a ser resfriado via ventilação noturna é de  $Q = 161,23 \cdot 56,06 = 8554,6 Wh/dia$ .

Por fim, o ábaco da Figura 12 fornece a máxima diferença de temperatura entra a massa térmica da edificação e a ventilação noturna, qual seja 4,4 °C. Assim, utilizando-se a Equação (12), é obtido o valor do fluxo de ventilação noturna necessário à edificação *Casa Niemeyer*:

$$F = \frac{8554,4}{1.1 \cdot 4.4} = 1767,48 \, L/s$$

Assim, com esse valor é possível ao projetista da *Casa Niemeyer* "pensar melhor" a respeito de como fazer a edificação aproveitar mais eficientemente a ventilação noturna do local. Isso pode ser feito através de um melhor posicionamento e dimensionamento de cômodos e aberturas, por exemplo.

### 4.4 Tubos Geotérmicos

A aplicação da presente solução é feita na edificação *Casa Niemeyer*, tendo em vista tratar-se de uma residência comum, com fatores de geração de carga térmica conhecidos. A sua aplicação, no entanto, fica prejudicada, a priori, por conta do inexato conhecimento das atividades ali desenvolvidas, do números de pessoas a frequentar o espaço, e da frequência de

utilização. Além disso, por ser um espaço com acentuada necessidade de resfriamento, devido ao seu uso, recomenda-se a utilização de sistemas intensivos de refrigeração.

Iniciando o dimensionamento, como parâmetro de entrada, necessita-se da temperatura média de verão da cidade de São José dos Campos. Tal valor é tomado de acordo com uma base histórica de dados climáticos [17], conforme mostra a Figura 17.

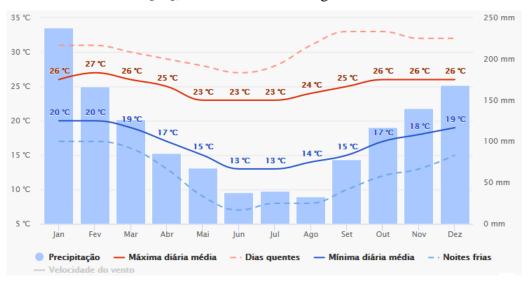


Figura 17 - Dados Climáticos de São José dos Campos. Adaptado de (METEOBLUE; 2019).

Toma-se, assim, como temperatura de verão a máxima média da figura acima, isto é,  $27 \, ^{\circ}C$ . Este valor será aproximado para a temperatura do solo da localidade,  $T_{solo} = 27 \, ^{\circ}C$ , conforme recomenda Kwok.

A seguir, escolhe-se a temperatura de saída desejada para o sistema. Tal decisão é baseada não só no conforto térmico do interior a ser perseguido, mas também na viabilidade de se alcançar tal resultado, já que temperaturas interiores muito amenas em uma região predominantemente quente, como na cidade de São José dos Campos, exigiriam elevados comprimentos de tubo, o que poderia vir a ser inviável em termos construtivos e econômicos. Assim, opta-se pela temperatuara interior de 24 °C, isto é,  $T_{saída} = 24$  °C.

Prosseguindo, é necessário saber a carga térmica a ser retirada do meio interior a ser resfriado. Portanto, primeiramente escolhem-se os ambientes da *Casa Niemeyer* a serem resfriados. Como recomendação padrão, os ambientes ideais são os de utilização intensa, quais sejam salas, quartos, salas de jantar, etc. Analisando-se as Figuras 18 e 19 abaixo, os ambientes a serem resfriados são a sala de estar, situada no piso térreo, e os quartos, situados no piso superior.

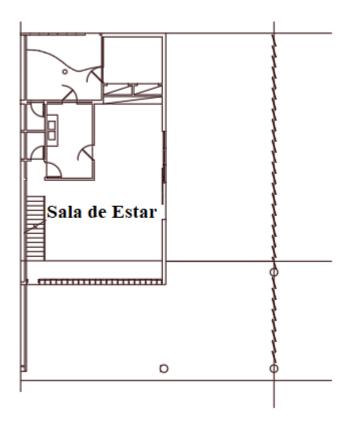


Figura 18 – Planta baixa da *Casa Niemeyer*, piso térreo.

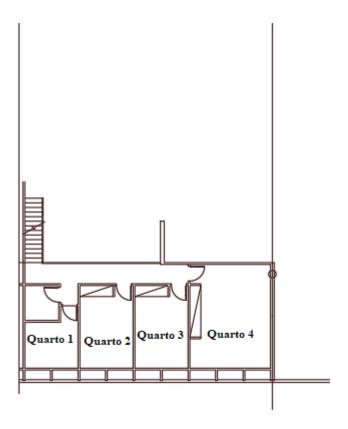


Figura 19 – Planta baixa da *Casa Niemeyer*, piso superior.

A ferramenta de cálculo estimado de carga térmica de resfriamento, fornecida pela empresa Inovar Ar-Condicionado [18] em seu *website*, é aqui utilizada para o cálculo de carga térmica. Essa ferramenta requisita como parâmetros de entrada a quantidade de pessoas a utilizar o cômodo, a área do mesmo, a quantidade de aparelhos emitentes de calor existentes e a área de paredes e vidros à oeste. A Tabela 5 mostra os valores estimados para cada parâmetro. Ressaltase que foi considerado um aparelho televisor na sala de estar, enquanto que nos quartos foi considerado um aparelhor televisor e um computador de mesa. As áreas de paredes e vidros à oeste foram calculadas utilizando-se a ferramente *Google Maps* para localizar tais paredes. A Tabela 6 mostra os valores de carga térmica para cada cômodo analisado.

Tabela 5 – Dados de Pertinentes ao Cálculo da Carga Térmica

Cômodo	Nº Pessoas no Ambiente	Área (m²)	Nº de Aparelhos	Paredes à Oeste sem proteção (m²)	Vidros à Oeste (m²)
Sala de Estar	7	58,6	1	15,8	5
Quarto 1	2	8,1	2	5,8	1,5
Quarto 2	2	11,9	2	5,8	1,5
Quarto 3	2	11,9	2	5,8	1,5
Quarto 4	2	23,3	2	8,8	3

Tabela 6 – Carga Térmica dos Cômodos Analisados na *Casa Niemeyer* 

Cômodo	Carga Térmica (kW)
Sala de Estar	14,3
Quarto 1	2,8
Quarto 2	3,5
Quarto 3	3,5
Quarto 4	6,0

Além da carga térmica devida aos aparelhos, aos usuários e à incidência solar, considerase, também, o calor advindo da ventilação externa. Tal parâmetro é estimado como sendo de  $6,31 \, W/m^2$  [1].

O valor de calor a ser vencido pelos tubos é considerado como sendo de 5% do valor de carga térmica total. Esse valor foi escolhido fazendo-se simulações com outras percentagens até se obter comprimentos de tubos viáveis de serem implantados. Vale ressaltar que Kwok recomenda que a carga térmica a ser vencida é de somente àquela devida à ventilação; no entanto, para ampliar o escopo do uso da solução arquitetônica, preferiu-se utilizar um percentual da carga térmica total. Além disso, o critério de escolha da percentagem de resfriamento também levou em consideração que a carga térmica mínima a ser resfriada seria a da ventilação externa. A Tabela 7 mostra os valores finais de resfriamento para a carga térmica.

Tabela 7 – Carga Térmica de Resfriamento

Cômodo	Carga Térmica a ser resfriada (kW/m²)
Sala de Estar	12,52
Quarto 1	17,60
Quarto 2	15,02
Quarto 3	15,02
Quarto 4	13,19

Por fim, de posse de tais valores e através da planilha *Cálculo de Comprimento de Tubos Geotérmicos*, são calculados os valores de comprimento de tubos necessários ao resfriamento. A Tabela 8 mostra os resultados obtidos.

Tabela 8 – Comprimentos dos Tubos Geotérmicos na Residência Niemeyer

Cômodo	Comprimento (m)
Sala de Estar	162,46
Quarto 1	31,57
Quarto 2	39,59
Quarto 3	39,59
Quarto 4	68,07
Total	341,29

Considerando uma área disponível de implantanção de 4x4 m no jardim da *Casa Niemeyer* e que os tubos sejam dispostos de tal maneira que a distância ortogonal entre seus centros seja de 8 cm, então, em uma camada de tubulação, podem ser dispostos 50 voltas de tubos, o que equivale a 200 m dos mesmos. Portanto, são necessárias apenas duas camadas de tubulação para a se diporem os tubos no jardim da *Casa Niemeyer*.

Os valores encontrados são condizentes com a bibliografia. Kwok, já que seu livro traz um exemplo de edificação com  $279 \, m^2$  que requereu  $244 \, m$  de tubulação. Portanto, a viabilidade de implantação resta comprovada.

# 4.5 Células Solares

Será feito o uso do procedimento prescrito por Kwok, conforme analisado nos itens anteriores. No final deste tópico, faz-se um cálculo simples de dimensionamento padrão de mercado a fim de compararem os resultados obtidos.

Primeiramente, faz-se a análise dos equipamentos elétricos que compoêm a residência, juntamente com a suas respectivas demandas energéticas e seu uso horário diário. A Tabela 9

mostra tais dados. Os valores de demanda energética e uso horário diário de cada equipamento foram retirados do estudo realizado pela empresa Eletricazan [19]. Os equipamentos e as suas quantidades foram obtidas através de estimativa baseadas em uma residência padrão.

Tabela 9 – Eletrodomésticos e suas demandas energéticas [19]

Equipamentos Domésticos				
Equipamento	Qtde	P (kW)	H (h)	
Ar Condicionado	5	4	2	
Freezer	1	0,4	10	
Geladeira	1	0,2	10	
Cafeteira Elétrica	1	1	1	
Computador	5	0,25	10	
Forno Elétrico	1	1,5	0,5	
Chuveiro Elétrico	2	3,5	0,333333	
TV	5	0,09	1,5	
Forno Microondas	1	1,3	0,333333	
Ferro Elétrico	1	1	1	
Lavadora de Roupas	1	1,5	1	
Aspirador de Pó	1	1	0,666667	
Torradeira	1	0,8	0,5	
Secador de Cabelo	3	0,7	0,5	

De posse desses dados, o valor da Carga Energética Diária (CED) é de 68,38 kWh.

Seguindo o procedimento de Kwok, é necessário saber a quantidade de dias com radiação baixa — considerada inexistente. Isso pode ser feito considerando o nível de nebulosidade da cidade ao longo do ano; isto é, analisa-se quantos dias, ao longo do ano, possuem alta nebulosidade e que podem ser considerados como de radiação inexistente. Posteriormente, tomase essa quantidade linearmente ao longo dos meses. A Figura 20 abaixo, retirada da instituição de pesquisa metereológica *Weather Spark* [20] mostra tais dados.

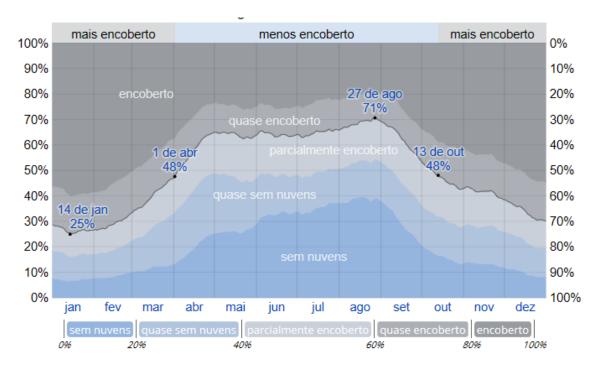


Figura 20 – Dados de Nebulosidade de São José dos Campos. Adaptado de (Weather Sparks, 2019).

Portanto, vê-se que em cerca de 15 dias, entre os meses de agosto e setembro, a nebulosidade atinge picos de 70 %. Isso equivale a  $\frac{15}{12}$  = 1,25 dias ao mês de baixa radiação. Toma-se, portanto, DBI = 2 dias.

Com isso, através da equação (15), a quantidade de energia a ser armazenada pelas baterias do sistema é de  $CA = 68,38 \cdot 2 = 136,62 \, kWh$ . Considerando baterias de  $12 \, V$  e amperagem de  $400 \, A \cdot h$  conectadas em pares – gerando-se, com isso,  $24 \, V$  – tem-se que o número de baterias necessário a sistema é de 14,23, ou, como estão em pares, 14 baterias.

O valor de energia requerida ao sistema diariamente ( $\mathcal{C}$ ) é calculado conforme a equação (17) e vale 73,19 kWh.

Por fim, calcula-se a potência do sistema de células solares e a área das mesmas para o adequado funcionamento. Conforme mencionado nos itens anteriores, Kwok utiliza como fator de decisão tão somente a disponibilidade solar e o grau de eficiência das células para o cálculo desses dados. Como a escolha desses dados de entrada é subjetiva, utilizam-se todas as suas possibilidades. A Tabela 10 mostra os resultados alcançados.

Tabela 10 – Dados de Potência e Área do Sistema de Células Solares

MPD	Eficiência	Potência (kW)	Área (m²)
Fraca	Baixa	23,30	177,10
Fraca	Média	23,30	106,26
Fraca	Alta	23,30	35,42
Média	Baixa	16,66	116,62
Média	Média	16,66	69,97
Média	Alta	16,66	23,32
Forte	Baixa	12,42	86,94
Forte	Média	12,42	52,56
Forte	Alta	12,42	17,39

De acordo com o sistema dimensionado, faz-se um orçamento estimado do custo do sistema de células solares para o caso de MPD média e Eficiência média. Nesse cálculo, computam-se somente o valor das baterias de armazenamento e dos conjuntos de células – excluem-se, portanto, custos de fiação, instalação, etc. A Tabela 11 mostra os resultados encontrados, bem como também as empresas vendedoras (pesquisadas) de cada respectivo componente. Importante ressaltar que o número total de conjuntos de células solares foi definido através do atingimento de  $16,66 \, kW$  de potência requerido do sistema. Isso fez com que a área total do conjunto passasse a ser de  $99,16 \, m^2$ .

Tabela 11 – Custo do Sistema Fotovoltáico

Objeto	Vendedor	Qtde	Custo unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Bateria Max Power 400 A.h 12V	Vendedor A [21]	14	R\$995,00	R\$13.930,00
Celula Solar 275W 1,64 m²	Vendedor B [22]	60	R\$538,50	R\$32.310,00
			Total	R\$46.240,00

Como análise final, compara-se o sistema dimensionado pelo método de Kwok, com um sistema dimensionado por uma metodologia simples de mercado. Para isto, usa-se o procedimento descrito pela Instituição Atomra [23]. Nele, toma-se o valor da energia consumida na residência diariamente, 68,38 kWh, e, a partir da radiação solar média na cidade de São José dos Campos,  $R_{méd}$  ( $kWh/m^2$ ), calcula-se a potência das células solares – P (W) conforme mostra a Equação (21) abaixo.

$$P = \frac{CED (Wh/dia)}{R_{m\acute{e}d}(kWh/m^2)} \cdot \frac{1}{0.83}$$
(21)

Onde a divisão por 0,83 refere-se a perdas no sistema por ineficiência.

O valor da radiação solar média da cidade de São José dos Campos,  $R_{méd}$ , é obtida através do histórico de radiação solar diária média, por metro quadrado, tomado a partir de uma base de 30 anos da Instituição *Weather Sparks* [20]. A Figura 21 mostra tal histórico.

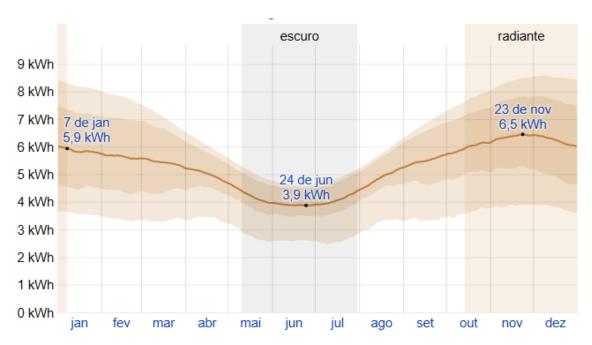


Figura 21 – Radiação Solar Diária Média de Ondas Curtas em São José dos Campos. Adaptado de (Weather Sparks, 2019).

Assim, toma-se como valor médio estimado de radiação solar, o valor de  $R_{m\acute{e}d}=5~kWh/m^2$ . Com isso, a potência do sistema fotovoltáico fica em P=16477,11~W.

Considerando placas de 275 W de potência — assim como as utilizadas no dimensionamento anterior — são necessários 60 placas para atingir a potência total requerida (16477,11 W).

A Tabela 12 abaixo mostra o comparativo dos dois sistemas. Repare que são muito semelhantes os resultados, comprovando uma significativa coerência do procedimento de Kwok no dimensionamento, ao se utilizar os valores de *MPD* e *Eficiência* médias.

Tabela 12 – Comparativo de Sistemas Fotovoltáicos

Dimensionamento				
Kwok		Padrão		
Potência do Sistema (kW)	Qtde de Células	Potência do Sistema (kW)	Qtde de Células	
16,66	60	16,48	60	

# 4.6 Geração Eólica

A aplicação do sistema gerador de energia eólica visa ao dimensionamento/determinação de três características:

- Diâmetro do rotor, *D* (*m*).
- Local de instalação do sistema.
- Altura da torre.

A demanda energética diária na residência já foi calculada em itens anteriores como sendo de 68,38 kWh. Assim, o valor da demanda durante um ano é calculada considerando-se um ano com 365 dias:

$$SEA = 365 \cdot 68,38 = 24958,7 \, kWh/ano$$

A velocidade média anual dos ventos no local da *Casa Niemeyer* é obtida considerandose a velocidade média anual de ventos do aeroporto de São José dos Campos. Tal aeroporto fica a cerca de 2 *km* de distância da residência, portanto, o uso de tal velocidade é fidedigno.



Figura 22 – Distância entre a *Casa Niemeyer* e o Aeroporto de São José dos Campos. Adaptado de (MAPS; Google, 2019)

A partir dos dados de ventos obtidos da Planilha *Análise de Ventos em São José dos Campos*, tem-se que a velocidade média dos ventos na localidade da *Casa Niemeyer* é de  $V = 2,89 \ m/s$  para uma altura de  $10 \ m$  de medição.

Com o valor da velocidade média anual de ventos (V) e da demanda energética anual (SEA), obtém-se, através da equação (20), o valor do diâmetro do rotor:

$$D = 4.71 \, m$$

Prosseguindo, determina-se a altura da torre de sustentação. Como a altura de cálculo de velocidade é de 10 m, a escolha da altura da torre de sustenção parte desse número mínimo. Dada a existência de árvores próximas a região de colocação da torre e estimando suas alturas para algo em torno de 4 m a 10 m, o modelo de Kwok então recomenda uma altura mínima de 19 m. Assim, escolhe-se este valor para a altura da torre de sustentação.

Quanto ao local de implantação da torre, este pode ser o próprio jardim frontal da edificação, já que possui área mínima necessária – algo em torno de  $6 m^2$ .

# 5 Referências Bibliográficas

- 1. KWOK, A. G.; GRONDZIK, W. T. **The Green Studio Handbook**. San Diego: Elsevier, 2007.
- 2. FIELD, C. B.; BARROS, V. R. (Eds). **Alterações climáticas 2014:** impactos, adaptação e vulnerabilidade. Geneve: IPCC, 2014. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o quinto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre alterações climáticas.
- 3. NATIONAL GEOGRAPHIC. Planeta ou Plástico. São Paulo, jun. 2018.
- 4. ENTENDA porquê a sustentabilidade cresce no setor de Enngenharia Civil. Blog Lopes. São Paulo, 2019. Disponivel em: http://www.lopes.com.br/blog/lopes/sustentabilidade/sustentabilidade-na-engenharia-civil/. Acesso em: 19 ago. 2018.
- 5. LEED in motion: Brazil. São Paulo: U.S. Green Building Council, 2016.
- 6. PROJETO Habitas. **Habitas web site**, 2018. Disponivel em: http://projetohabitas.org/. Acesso em: 23 ago. 2018.
- 7. CORSINI, R. Equipamentos públicos: telhados verdes. **Insfraestrutura Urbana**, 2011. Disponivel em: http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/1-telhado-verde-cobertura-de-edificacoes-com-vegetacao-requer-260593-1.aspx. Acesso em: 10 dez. 2018.
- 8. FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiologicos das culturas**. Goiânia: EMBRAPA, 1989.
- 9. MENDES, L. M. et al. Variação da densidade da madeira de Pinus. **Revista da Madeira**, n. 82, ago. 2004. Disponivel em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\_materia.php?num=603&subject=Densida de&title=Varia%E7%E3o%20da%20densidade%20da%20madeira%20de%20pinus. Acesso em: 05 fev. 2019.
- 10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** projeto de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- 11. SOFTWARE, M. E. D. MS Calc, 2019.
- 12. CORREA, C. **Dimensionamento de sistema de energia solar para aquecimento.** Mais engenharia. Florianópolis: AltoQi, 2017. Disponivel em: https://maisengenharia.altoqi.com.br/hidrossanitario/dimensionamento-de-sistema-de-energia-solar-para-aquecimento/. Acesso em: 05 fev. 2019.
- P PROJETANDO uma instalação de aquecimento solar. São Paulo: ABRAVA, [2008]. Apresentação.
- 14. UNITED STATES. Department of Energy. **Site oficial**. Washington, DC: Energy.gov, 2019. Disponivel em: https://www.energy.gov/. Acesso em: 22 mar. 2019.
- 15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569**: Instalação de sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- 16. PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.
- 17. CLIMA São José dos Campos. MeteoBlue: Weather Close to You. São Paulo, 2019.
- INOVAR AR CONDICIONADO. Cálculo da carga térmica, Fortaleza, 2019.
   Disponivel em: https://www.inovararcondicionado.com.br/carga-termica. Acesso em: 09 fev. 2019.

- 19. ELETRICAZAN MATERIAIS ELÉTRICOS E HIDRÁULICOS. **Demanda energética de eletrodomésticos**. Dourados: Eletrica Zan, 2018.
- 20. WEATHER SPARK. Condições meteorológicas médias de São José dos Campos. Excelsior: Weather Spark, 2019.
- 21. MERCADO Livre. **Bateria Max Power 400ah alto desempenho estacionaria**. 2019. Disponivel em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-711158642-bateria-max-power-400ah-auto-desempenho-estacionaria-maxpowe-\_JM? matt\_tool=14302715&matt\_word&gclid= CjwKCAiAwJTjBRBhEiw A56V7q8CLjSwv5gIHkaWMiCPAl1Og6TJkJVtcl5i4qrymFMD4BqOiP8GYVhoCRvs QAvD\_BwE&quantity=1. Acesso em: 14 fev. 2019.
- 22. MINHA CASA SOLAR. Site Oficial. Contagem, 2019. Disponivel em: https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-275w-risen-solar-rsm60-6-275p-79315?utm\_source=GoogleShopping&utm\_medium=&utm\_campaign=GoogleShopping &gclid=CjwKCAiAwJTjBRBhEiw A56V7q09aMsUyEodpDJtg2J0lV7t7j9LOedhzxyUoBFPqfn5ZzVogyIwdhoCcAAQAvD\_BwE. Acesso em: 14 fev. 2019.
- 23. ATOMRA ENERGIA RENOVÁVEL. Cálculo do Dimensionamento Projeto Solar Fotovoltáico, 2014. Disponivel em: https://www.atomra.com.br/dimensionamento-projeto-solar-fotovoltaico/. Acesso em: 15 fev. 2019.
- 24. RORIZ, M. **Arquitetura bioclimática**: módulo 1a: conforto térmico em edificações. Apresentado no II Fórum Pró-Sustentabilidade. Novo Hamburgo: Feevale Arquitetura e Urbanismo, 2008.
- 25. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215**: Iluminação natural parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- 26. GUIA CASA EFICIENTE. O uso da massa térmica na arquitetura de edifícios. Portugal Setúbal: House Energy, 2018. Disponivel em: https://www.guiacasaeficiente.com/Pisos/MassaTermica.html. Acesso em: jul. 2018.
- 27. WHOLE BUILDING DESIGN GUIDE. **Natural ventilation**. Washington, DC: WBDG, 2018. Disponivel em: http://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php. Acesso em: 23 jun. 2018.
- 28. FERRAMENTAS para energia em edifícios Rio de Janeiro: ventilação natural. Rio de Janeiro: Rio Renovavel, 2018. Disponivel em: https://riorenovavel.com/efficient-design/ventilation-airflow. Acesso em: 23 jun. 2018.
- 29. WIKIPEDIA. **São José dos Campos**. 2018. Disponivel em: https://pt.wikipedia.org/wiki/São\_José\_dos\_Campos#Clima . Acesso em: 15 Outubro 2018.
- 30. INOVAR AR CONDICIONADO. **MS Calc**. Fortaleza, 2019. SOFTWARE M. E. D. Disponivel em: https://www.inovararcondicionado.com.br/carga-termica. Acesso em: 09 fev. 2019.
- 31. GOOGLE LLC. Google Maps, 2019. Disponivel em: https://www.google.com.br/maps/@-23.2159898,-45.8577977,13.93z. Acesso em: 09 mar. 2019.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO CDU 69:504				
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO	<sup>2.</sup> Data	3. REGISTRO N°	<sup>4.</sup> N° DE PÁGINAS	
TC	10 de Julho de 2019	DCTA/ITA/TC-017/2019	73	
<sup>5</sup> . TÍTULO E SUBTÍTULO:				
Soluções Arquitetônicas Suster	ntáveis em Residências E	cológicas		
6. AUTOR(ES):		8		
Samuel Wolf Pietnozka				
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S)	INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES	):		
Instituto Tecnológico de A	eronáutica - ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS	PELO AUTOR:			
Sustentabilidade; The Green Stu	ıdio Handbook; Arquitet	ura Sustentável;		
9.PALAVRAS-CHAVE RESULTANT	ES DE INDEXAÇÃO:			
Desenvolvimento sustentável; A	Arquitetura; Habitação; C	onstrução civil; Engenharia	civil.	
APRESENTAÇÃO:				
ITA, São José dos Campos. Cur Ivo Braga Neto; co-orientador:			. Orientador: Paulo	
11. RESUMO:	Jacqueime Emage Ramis	. 1 ublicado cili 2019.		
O desenvolvimento sustentável	é um dos temas mais disc	utidos atualmente. Não para	menos, a humanidade	
tem experienciado um enorme c	tem experienciado um enorme crescimento econômico e populacional, o que leva ao aumento exponencial			
da produção de bens e serviços e que, consequentemente, tem ocasionado o esgotamento crescente dos				
recursos naturais. Assim, com-	recursos naturais. Assim, como forma de manter a "roda girando" no sistema capitalista mundial, o			
progresso humano tem agora de	se preocupar com questô	ses com as quais antes não se	e preocupava. Aí entra	
o desenvolvimento sustentável.				
É nesse contexto que se situa	também o tema abordad	lo no presente trabalho: Ar	quitetura Sustentável.	
Busca-se aqui descrever e ana	Busca-se aqui descrever e analisar algumas soluções arquitetônicas sustentáveis propostas por Alison			
Kwok em seu livro The Green S	tudio Handbook [1]. Tais	soluções são metologias ide	ealizadas com o intuito	
de se utilizar meios não poluidores e renováveis em aplicações cotidianas em residências - Telhados				
Verdes, Tubos Geotérmicos, entre outros.				
As análises feitas englobam, além da descrição de cada solução, adaptações para o contexto brasileiro –				
visto que foram utilizadas as normas brasileiras em substituição às normas americanas utilizadas na				
bibliografia. Além disso, como resultados práticos do trabalho, foram produzidas ferramentarias que				
fornecem meios de cálculo para cada solução.				
Por fim, a última seção mostra a aplicação das soluções arquitetônicas a um caso concreto em São José dos				
Campos: o Projeto Habitas.				
12. GRAU DE SIGILO:				
(X) OSTENS	( ) RESERV	VADO ( ) SECRETO	U	