



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO –
UFERSA
CAMPUS CARAÚBAS
ENGENHARIA CIVIL

ALINE LEITE FERNANDES

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN**

CARAÚBAS – RN/
2017

ALINE LEITE FERNANDES

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido -
UFERSA, como requisito básico para
o título de Engenheira Civil.

Orientador: Profa. ^a Marcella de São
leito Assunção e co-orientadora
Profa.^a Me. Leonete Cristina de
Araújo Ferreira Medeiros Silva -
UFERSA

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L363a Leite Fernandes, Aline Leite Fernandes.
Análise do conforto térmico de uma edificação
residencial no município de Caraúbas / Aline Leite
Fernandes Leite Fernandes. - 2017.
56 f. : il.

Orientadora: Marcella de São Leitão Assunção São
Leitão Assunção.

Coorientadora: Leonete Cristina de Araújo Ferreira
Medeiros Silva Araújo Ferreira Medeiros Silva.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2017.

1. Conforto Térmico. 2. Temperatura. 3. Software.

I. São Leitão Assunção, Marcella de São Leitão
Assunção, orient. II. Araújo Ferreira Medeiros Silva,
Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva,
co-orient. III. Título.

ALINE LEITE FERNANDES

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL NO
MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido - UFERSA, como requisito básico
para o título de Engenheira Civil.

APROVADO EM: 18 / 10 / 2017

BANCA EXAMINADORA

Profa. ^a Me. Marguina de Sá Leão Assunção - UFERSA
Presidente

Co-orientadora Profa. ^a Me. Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva - UFERSA
Primeiro Membro

Profa. ^a Me. Ana Cláudia Araújo Fernandes - UFERSA
Segundo Membro

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos aqueles que acreditaram na minha capacidade e que sempre estiverem ao meu lado mim apoiando e mim dando forças para que fosse possível a realização desse trabalho, em especial ao meu pai eterno “Deus” e aqueles que sempre acreditaram me incentivaram a sempre correr atrás dos meus sonhos.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, por ele ter me dado o dom da vida e forças pra desempenhar esse trabalho, e por me dar todo amor e carinho do mundo, sempre estar ao meu lado em todos os momentos bons e ruins da minha vida, e por ter esse amor eterno pelos seus filhos.

Aos meus pais, o senhor Aurino Leite de Souza e Ednor e a senhora Francisca Soares e Maria Zuila Fernandes, por todo o amor, carinho, educação que os mesmos me deram. E pelo exemplo de vida que são pra me e toda luta e dedicação que tiveram para me educar. E por sempre me incentivarem a não desistir nos momentos de pouca fé.

Aos meus Irmãos Kaline Fernandes, Kennedy Fernandes, Kaliane Fernandes, Cleyton Fernandes e Elisângela Sheila e Junior, e minhas outras amigas que tenho como irmãs, Joedna, Luana e Amábila. E a minha irmã de coração Monique Gabriella por sempre estar ao meu lado me motivando e me ajudando, por ser essa amiga verdadeira e especial.

Aos meus familiares por terem me apoiado nessa escolha e por acreditarem que eu era capaz.

As minhas amigas, Gardênia, Régia, Vanessa, Flaviane, Isadora, Juliana

A todas as pessoas que sempre me ajudaram ao longo desses anos a virem pra Caraúbas me dando caronas, e a todos do ônibus de Felipe Guerra por serem muito especiais.

As minhas amigas, Enedina, Yanne, Isabel, Natália, Larissa, Alana, Anelita, Mara, Juliana, e aos meus amigos, Sabiniano, Cássio, César, PV, Hernane, Eliaque, Diogo pela amizade que temos onde todos sempre me deram força de vontade para conseguir.

A todas as tolinhas que sempre estará no meu coração, Anny, Bel, Juliana e Yanne.

A minha orientadora Prof.^a Me. Leonete, pela amizade, pelo conhecimento que me repassaste na nossa pesquisa e a também por não ter feito questão de me orientar mesmo

tendo pouco tempo fazer para o trabalho, e sempre com suas palavras de incentivo fazendo com eu acreditasse que iria conseguir.

A minha outra orientadora Prof.^a Me. Marcella, por ter me ajudado na realização deste trabalho e por todo conhecido repassado.

A todos os professores em que me acompanharam durante essa graduação, onde os mesmo sempre me incentivaram a busca de novos conhecimentos, de pesquisas, e por todos terem contribuído para que eu pudesse chegar ao fim dessa graduação.

RESUMO

A cidade de Caraúbas, localizada no Rio Grande do Norte, possui um clima com temperaturas muito elevadas, chegando a temperaturas acima de 35° C, possui características peculiares quanto ao comportamento térmico em residências, no qual diversas variáveis tais como o material empregado nas vedações e nas de cobertura, podem contribuir para obtenção de ambientes mais confortáveis para seus usuários. A utilização de software com ferramentas para estudos em análises de conforto térmico ou em outras áreas de estudos vêm sendo crescente, muito procurada no mercado de trabalho e em estudos acadêmicos. Essas análises permitem obter dados do possível comportamento do material utilizado, conforme suas características e tecnologias construtivas. Apresenta, portanto, uma relação comportamental do ambiente diante dos dias noturnos e diurnos, podendo avaliar o seu desempenho ao longo do dia. Neste trabalho, foram realizadas as análises de uma edificação simples situada no município de Caraúbas/RN, variando os materiais da cobertura e das paredes, da espessura da alvenaria, para verificar os efeitos na ventilação e sombreamento de acordo com a Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiras e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, da NBR 15220 de 2003. Foi utilizado o software Domus , que consiste em um software livre desenvolvido para apoio à avaliação da eficiência energética das edificações. Verificou-se que há impacto direto nos parâmetros avaliados, quando já mudança do material,

Palavras chave: Conforto térmico, Temperatura, Software.

ABSTRACT

The city of Caraúbas, localized in the Rio Grande do Norte, has a climate with temperatures very high, arriving to temperature above of 35°C, having specific characteristics as to its thermal behavior in residences, multiple variables as the of roof or thickness of walls will allow to get environmental more satisfactory and with minors temperatures internal in the environmental. The utilization of software with tools for studies in analyzes of thermal comfort or in others areas of study comes being growing and much searched in the job market and in academic studies, the analyzes allows to get datas of the possible real behavior with the utilization of the characteristics of the material that wish to get in the studies, this studies bring better behavioral relation of the environmental against of the nocturnal and diurnal days, being able to analyze the its behavior in variable schedules to throughout the day, being made the analyzes against of the zone that fits the city of Caraúbas and the recommendations of roof, walls, ventilation, shading according to the Part 3: Brazilian bioclimatic zoning and constructive guidelines for single family housing of social interest, of the NBR 15220 de 2003.

Keywords: Thermal comfort, Temperature, Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da zona climática	17
Figura 2: Classificação bioclimática das cidades.	19
Figura 3: Mapa da zona 8	19
Figura 4: Zona 8 (Belém/PA)	20
Figura 5: Abertura (h) em beirais, para ventilação.	22
Figura 6: Clima.....	35
Figura 7: Alvenaria de concreto.	37
Figura 8: Bloco de concreto	37
Figura 9: Parede de tijolo 6 furos	38
Figura 10: Parede de tijolo 6 furos	38
Figura 11: Telha cerâmica	39
Figura 12: Telha de fibrocimento	40
Figura 13: Cobertura com laje.....	40
Figura 14: Planta da casa.....	41
Figura 15: Inserindo portas.....	41
Figura 16: Inserindo janelas	42
Figura 17: Características de paredes e coberturas	42
Figura 18: Posição solar	43
Figura 19: Características das pessoas	43
Figura 20: Definições climáticas	44
Figura 21: Temperatura e umidade.....	44
Figura 22: Resultados	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estratégia bioclimática	18
Quadro 2: Ventilação.....	21
Quadro 3: Aberturas	21
Quadro 4: Vedações	21
Quadro 5: Letras da zona 8.....	22
Quadro 6: Tabela de Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.1 Objetivos Específicos.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1 Clima.....	16
3.2 Zona bioclimática.....	17
3.3 Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 8.....	20
3.3.1 Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8.....	20
3.3.2 Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8.....	21
3.4 Conforto térmico	23
3.4.1 Mecanismos de transferência de calor	24
3.5 COBERTURA	25
3.5.1 TIPOS DE COBERTURAS	26
3.5.1.1 Telha cerâmica	27
3.5.1.2 Cobertura verde.....	27
3.6 Desempenho térmico das coberturas.....	29
3.6.1 Desempenho térmico.....	29
3.6.2 Transmitância térmica	30
3.6.3 PMV e PPD	30
3.7 Softwares utilizados em estudos	31
3.7.1 ENERGYPLUS.....	31
3.7.2 DOMUS	33
4. METODOLOGIA	34
4.1 Modelagem de casa.....	34
4.2 Dados da posição do sol.....	34
4.3 Condições Bioclimáticas.....	35
4.4 Matérias escolhidos para simulação.....	35
4.4.1. Tipo de Vedações.....	36
4.4.1.1 Alvenaria com bloco de concreto.....	36
4.4.1.1.1 Alvenaria de concreto com espessura de 14 cm.....	36
4.4.1.1.2 Alvenaria de concreto com espessura de 9 cm.....	37
4.4.1.2 Alvenaria de bloco cerâmico.....	37
4.4.1.2.1 Alvenaria de bloco cerâmico com espessura de 10 cm.....	37

4.4.1.1.2.2 Bloco cerâmico com espessura de 14 cm	38
4.4.2 TIPOS DE COBERTURA	39
4.4.2.1 Cobertura de telha cerâmica	39
4.4.2.2 Cobertura de telha fibrocimento	40
4.4.2.3 Laje	40
4.5 Etapas de Simulação.	41
4.6 parâmetros de simulações	45
4.6.1 Simulações com tijolo cerâmico de 6 furos de 10 cm, com os 3 tipos de coberturas	45
4.6.1.1 Telha cerâmica	45
4.6.1.2 Telha de fibrocimento	46
4.6.1.3. Laje.....	46
4.6.2 Simulações com tijolo cerâmico de 6 furos quadrados com 14 cm, com os 3 tipos de coberturas.	46
4.6.2.1 Telha cerâmica	46
4.6.2.2 Telha de fibrocimento	47
4.6.2.3 Laje	47
4.6.3 Simulações com bloco de concreto com 9 cm, com os 3 tipos de coberturas	47
4.6.3.1 Telha cerâmica	47
4.6.3.2 Telha de fibrocimento	48
4.6.3.3 Laje	48
4.6.4 Simulações com bloco de concreto com 14 cm, com os 3 tipos de coberturas	48
4.6.4.1 Telha cerâmica	48
4.6.4.2 Telha de fibrocimento	48
4.6.4.3 Laje	49
5. RESULTADOS	50
6. CONCLUSÕES	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes propostas das construções é proporcionar as pessoas um ambiente confortável, seguro e esteticamente agradável, que possa atender as suas necessidades e a sua satisfação em morar naquele ambiente. Com isso é crescente estudos de métodos e matérias que possam satisfazer o conforto em residências sem agredir o meio ambiente.

A variedade de matérias de construção é enorme, proporcionando a satisfação dos moradores, visando à melhoria do seu ambiente em relação ao conforto térmico e acústico.

Segundo Arantes (2012, p.3) são várias as discussões e enfoque de assuntos relacionados à melhoria do nível de conforto ambiental oferecido pelas edificações voltadas a diferentes fins. E é cada vez maior a busca por soluções eficazes que garantam boas condições de habitabilidade e permanência nos edifícios.

O desenvolvimento da normalização de produtos em geral colabora para a melhoria da qualidade dos os materiais e sistemas construtivos, como já existente em diferentes áreas da construção civil, como é o caso da normalização sobre desempenho térmico de edificações.

No Brasil, normalizações que tratam de quesitos referentes ao desempenho térmico são relativamente recentes. Em 2005 entrou em vigor a norma brasileira NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), que estabelece parâmetros para avaliação do desempenho térmico de habitações de interesse social a partir de limites mínimos de conforto térmico. Esta norma também apresenta diretrizes construtivas de acordo com as características climáticas locais onde a edificação será implantada, sendo a classificação climática apresentada pelo Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2005). Em 2013 entrou em vigor a NBR 15575 – Desempenho de edifícios habitacionais (ABNT, 2013), cujo objetivo da norma é definir os requisitos de desempenho que se aplicam ao edifício habitacional como um todo através de critérios de segurança, habitabilidade, higiene e saúde, durabilidade e adequação ambiental.

Estudar aplicabilidade de diversos materiais nas edificações para garantir conforto ambiental nas edificações surge como modelagem de desempenho, servindo para guiar o emprego dos materiais adequados nos projetos, em específico, serão analisados os materiais empregados nas coberturas e nas alvenarias de vedação.

As coberturas desempenham uma enorme função na condição do conforto térmico das construções, tendo uma vasta gama de coberturas, entre elas temos as metálicas, de concreto, barro, cobertura verde e outras.

Cada material utilizado nas coberturas possui características térmicas que influenciam diretamente do conforto do ambiente, podendo se uma característica principal para o aquecimento de ambiente em regiões muito quentes, logo a cobertura impede diretamente a passagem da incidência dos raios solares que é uma característica que com as angulações e alturas podem ser um fator importante na hora da análise térmica dos ambientes. País de clima tropical com temperaturas elevadas de verão e intensa radiação, os materiais utilizados nas coberturas devem permitir bom isolamento térmico para que o ambiente interno das instalações seja menos influenciável pela variação climática, segundo Bogo (2003).

O desempenho térmico caracteriza-se como o comportamento térmico mínimo esperado das edificações e/ou seus componentes (janelas, coberturas, paredes), visando melhores condições de conforto térmico interior e melhor racionalização energética nos equipamentos de climatização artificial. Bogo, 2003.

As paredes assim com as coberturas trazem podem trazer inúmeras sensações de conforto térmico para o ambiente, sendo um fator muito importante para as análises de temperatura esperada para o ambiente, podendo chegar a ser determinante para o aumento ou diminuição das temperaturas do ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar coberturas de diferentes materiais que possam melhorar o conforto térmico do ambiente, analisando cada método e relacionando possíveis variáveis que irão influenciar nessa estabilidade do conforto.

Verificar o conforto ambiental em uma residência padrão localizado numa região semiárida, variando os tipos e propriedades dos materiais de cobertura e de vedação.

2.1 Objetivos Específicos

Simular através de um software possíveis situações que possam gerar um melhor ambiente de conforto em relação à cobertura adotada e dos materiais de construção da casa.

Definir uma edificação padrão para o município de Caraúbas.

Simular o comportamento das variáveis de conforto ambiental variando o material de cobertura da edificação.

Simular o comportamento das variáveis de conforto ambiental variando o material das vedações laterais da edificação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Clima

O Brasil é um dos mais diversos em climas do mundo, conta com 5 regiões, onde cada região possui climas diferentes. A caatinga é um clima predominante na região do rio grande no norte, um clima segundo Darién (2003).

Um clima semi-árido, comparadas a outras formações brasileiras, apresentam muitas características extremas dentre os parâmetros meteorológicos: a mais alta radiação solar, baixa nebulosidade, a mais alta temperatura média anual. (2003, p.11).

Regiões dos estados com ausência completa de chuvas em alguns anos e a ocorrência local rara de precipitações são fatores que definem algumas as cidades do Rio Grande do Norte, entre elas a cidade de Caraúbas, segundo Frota (2001).

O conhecimento das exigências humanas de conforto térmico e do clima, associado ao das características térmicas dos materiais e das premissas genéricas para o partido arquitetônico adequado a climas particulares, proporciona condições de projetar edifícios e espaços urbanos cuja resposta térmica atenda às exigências de conforto térmico. (2001, p.16).

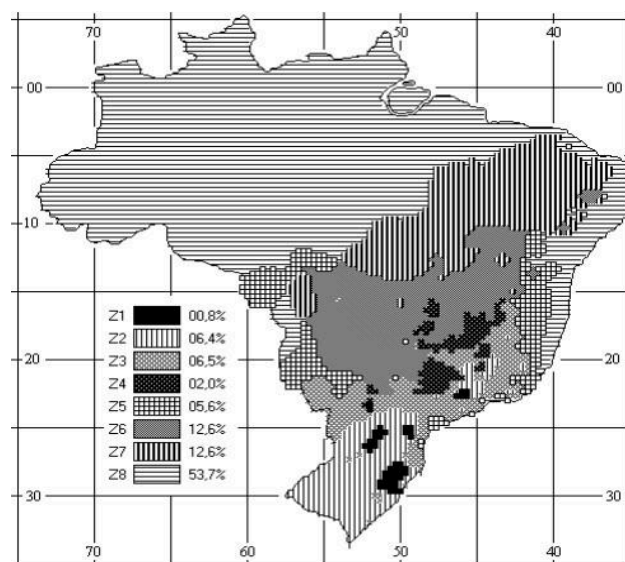
Segundo Matos (2007), as estratégias bioclimáticas de uma determinada região a partir do estudo do clima podem ser identificadas através da carta bioclimática. Os dados climáticos da localidade (umidade relativa do ar e temperatura de bulbo seco) são plotados sobre a carta psicrométrica, o que resulta em indicações de estratégias bioclimáticas a serem adotadas no projeto de edificações.

3.2 Zona bioclimática

Na NBR 15220 as norma e as diretrizes construtivas são assim definidas ao se identificar a zona bioclimática a qual pertence a região da edificação analisada. A cidade de Caraúbas está situada na zona bioclimática 8. Para cada zona bioclimática, a norma determina valores aceitáveis para as características termofísicas dos elementos construtivos, como: atraso térmico (ϕ), transmitância térmica (U) e fator solar (Fs).

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, apresenta a relação de 330 cidades cujos climas foram determinados do zoneamento, conforme mostrada na Figura 1 abaixo.

Figura 1: Mapa da zona climática



Fonte 1: NBR 15220-3 (ABNT,2003).

De acordo com o Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, da NBR 15220, o anexo A da NBR vem mostrando 330 cidades estudadas no zoneamento.

Quadro 1: Estratégia bioclimática

UF	CIDADE	ESTRATÉGIA	ZONA
RN	Apodí	FIJK	8
RN	Cruzeta	FHIJK	7
RN	Florânia	FHIJ	7
RN	Macau	FIJ	8
RN	Mossoró	FHIJK	7
RN	Natal	FIJ	8
RN	Nova Cruz	FIJ	8

Fonte 1: NBR 15220-3 (ABNT,2003)

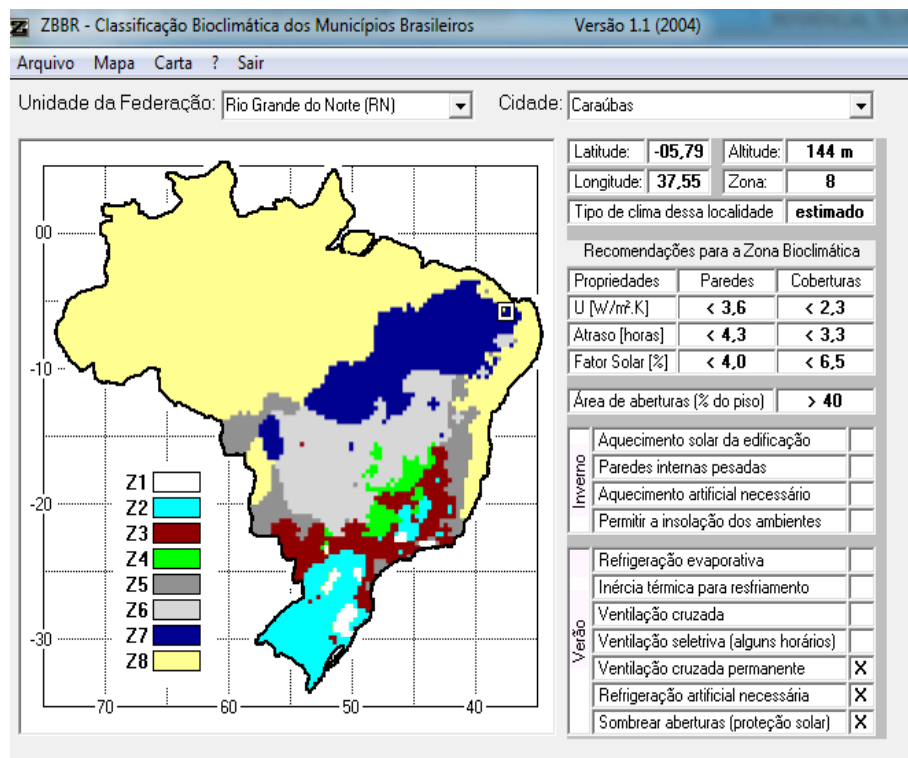
De acordo com o Quadro 1 acima, o Rio Grande do Norte tem 7 cidades das 330 cidades representadas de acordo com a classificação do clima.

No estudo será utilizada com base a cidade de Apodí, pois possui características climáticas mais próximas com relação à cidade de Caraúbas que será estudada ao longo do trabalho, pois a mesma não possui os dados na relação em estudo.

Segundo Roriz (2014), o município de Caraúbas se encaixa na zona bioclimática 8, conforme a ABNT NBR 15220-3, mostrada na Figura 2, a seguir.

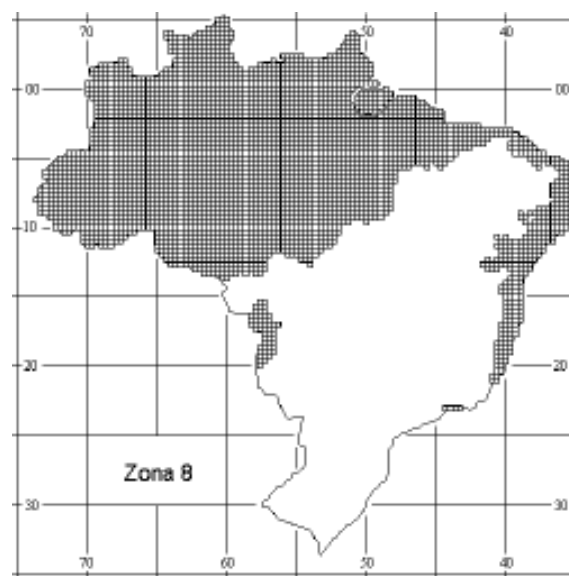
Segundo os dados da classificação bioclimática a cidade de Caraúbas se encontra na zona 8 com características recomendadas para as coberturas de atraso térmico (ϕ) < 3,3 e transmitância térmica (U) < 2,3 e fator solar (Fs) < 2,3. São parâmetros aceitáveis para que se tenha um bom conforto térmico.

Figura 2: Classificação bioclimática das cidades.



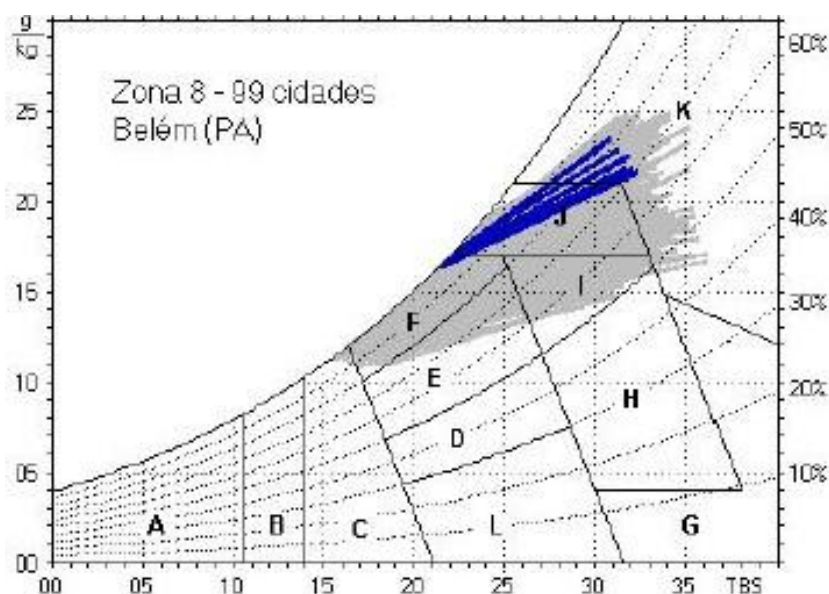
Fonte 2: Roriz (2014).

Figura 3: Mapa da zona 8



Fonte 3: NBR 15220-3 (ABNT, 2015)

Figura 4: Zona 8 (Belém/PA)



Fonte 4: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

A carta bioclimática de Belém é a que mais possui características próximas da cidade estudada, as normais climatológicas de cidades desta zona se encaixam nas mesmas letras da estratégia em estudo, que no qual são as letras FIJK da cidade de Belém, PA.

3.3 Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 8.

A norma prevê como serão alguns parâmetros para auxiliar nas escolhas das características construtiva de acordo com a zona escolhida, possibilitando um ganho na escolha dos elementos que irão compor nossa residência ou imóvel.

3.3.1 Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8.

De acordo com os Quadros 2 e 3 abaixo da NBR de diretrizes construtivas, são indicadas áreas com bastante ventilações e sombreadas, com aberturas que permitam a entrada de vento para amenizar as altas temperaturas.

Quadro 2: Ventilação

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

Fonte 2: NBR 15220-3 (ABNT,2003)

Quadro 3: Aberturas

Aberturas	A (em % da área) piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte 3: NBR 15220-3 (ABNT,2003)

3.3.2 Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8.

De acordo com o Quadro 4 da NBR de diretrizes construtivas, são indicadas os tipos de vedações.

Quadro 4: Vedações

Vedações Externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve refletora
As coberturas com telha de barro sem forro, não atende a alguns requisitos, mas só poderão ser aceitos na zona 8, desde que as telhas sejam pintadas ou esmaltadas.

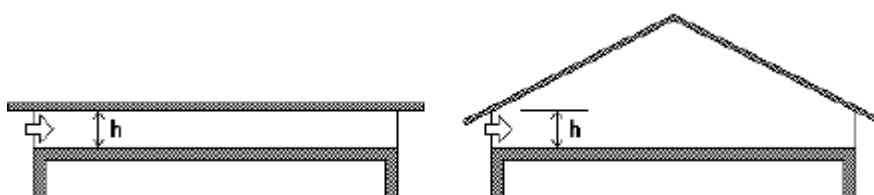
Fonte 4: NBR 15220-3 (ABNT, 2003)

De acordo com a norma Desempenho térmico de edificações Parte 3: Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências:

- a) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e
 b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas.
- Nestes casos, em função da altura total para ventilação, os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela expressão.

A figura abaixo mostra como devem ser as aberturas das coberturas indicadas para a zona em estudo.

Figura 5: Abertura (h) em beirais, para ventilação.



Fonte 5: NRB 15220-3 (ABNT,2003)

$$FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04},$$

Equação 1

Onde:

- FT = fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da zona 8 (adimensional).
- h = altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros.
- Para coberturas sem forros não ventilados, FT = 1.

Para detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo, a norma utiliza para cada letra das estratégias bioclimáticas características diferentes, onde para as letras da nossa zona que é FIJK, as características são as seguintes expostas no Quadro 5.

Quadro 5: Letras da zona 8.

Estratégia	Detalhamento
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação

	dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.

Fonte 5: NBR 15220-3 ABNT (2003)

De acordo com o Quadro 5 de descrição impostas pela norma 15220-3 de 2003 as letras significam:

F – Zona de desumidificação (renovação do ar)

H + I – Zona de massa térmica de refrigeração

I + J – Zona de ventilação

K – Zona de refrigeração artificial.

De acordo com esses parâmetros, as construções de casas na região em estudo devem possuir muitas áreas abertas para permitir a ventilação, e matérias que possam conduzir ao mínimo calor para o ambiente.

3.4 Conforto térmico

O conforto térmico é obtido através da satisfação de boa relação com o ambiente que está inserido, o conforto ambiental, na arquitetura, é entendido como a combinação de aspectos fisiológicos, psicológicos, funcionais e dimensionais que atuam, em conjunto,

nos espaços construídos para o uso do homem, transmitindo ao mesmo, sensações agradáveis ao ocupar tais locais, a pessoa está confortável em relação ao ambiente quando as observá-lo e senti-lo sem causar preocupação ou incômodo algum ao seu organismo, é satisfação de bem estar.

Esse conforto depende também de algumas Características do próprio usuário, como taxa metabólica e vestimenta, mas também de características do ambiente: temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade do ar, que são outros elementos de estudo em relação ao bem estar físico do ser humano.

Segundo a NBR15220 o conforto térmico é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente (2003).

3.4.1 Mecanismos de transferência de calor

Todos os modos de transferência de calor exigem a existência da diferença de temperatura e todos ocorrem da maior para a menor temperatura, mas no caso da radiação térmica, parte da radiação da superfície de menor temperatura para a de maior temperatura. A transferência de energia térmica pode ocorrer de três diferentes formas: Condução, convecção e radiação.

Transferência de calor por Condução

Na condução, que ocorre em meios sólidos, a energia é transferida das partículas mais energéticas para as menos energéticas. A condução de calor em um determinado meio depende da geometria, espessura, tipo de material, além da diferença de temperatura em que o meio está inserido. Como exemplo, considera-se uma barra cilíndrica de material conhecido onde a sua superfície lateral é isolada e as duas faces restantes mantidas a diferentes temperaturas, sendo $T_1 > T_2$. A diferença de temperatura causa a transferência de calor por condução de T_1 para T_2 . Somos capazes de medir a taxa de transferência de calor q_x conhecendo as variáveis ΔT , comprimento da barra Δx e área da seção transversal A . A equação da taxa de transferência de calor é obtida pela equação (2):

$$q_x = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

em que k , a condutividade térmica (W/m.K) é uma importante propriedade do material. O sinal negativo é necessário porque o calor é sempre transferido na direção decrescente da temperatura. É um fenômeno de transferência térmica causado por uma diferença de temperatura entre duas regiões em um mesmo meio, ou entre dois meios em contato (PÉREZ, ROMULUS, 1993). Quando o calor é transferido por condução, ele ocorre em regiões de temperaturas diferentes e o sentido da transferência de calor é sempre da temperatura maior para a temperatura menor (YOUNG & FREEDMAN, 2008). Para medições de conforto térmico são analisados 3 principais parâmetros, de acordo com a NBR 15220.

- Transmitância térmica (U) é uma propriedade dos componentes construtivos relacionada à permissão da passagem de energia, medida em $\text{W/m}^2\text{K}$. Está relacionada à espessura do componente e à condutividade térmica dos seus materiais constituintes, e sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura.
- Capacidade térmica (C_t) é uma propriedade dos componentes construtivos que indica a quantidade de calor necessária para elevar sua temperatura em uma unidade, por cada unidade de área. Quanto maior a capacidade térmica dos componentes de uma edificação (paredes e cobertura), maior sua inércia térmica e, por conseguinte, maior o amortecimento dos picos de temperatura internos em relação aos valores correspondentes no ambiente externo.
- Atraso térmico (ϕ) indica o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio, e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. Por exemplo: o tempo transcorrido entre o pico de temperatura máxima do ar externo e a temperatura máxima do ar em um ambiente interno.

3.5 COBERTURA

As edificações são constituídas por vários elementos que separam do meio externo, fazendo a proteção contra a influência das variáveis climáticas como (temperatura, radiação solar, umidade e etc.), todos os estudos dessas variáveis além do conhecimento das propriedades dos materiais utilizados trazem informações de cada componente da

edificação, possibilitando o estudo mais apropriado das propriedades térmicas de cada elemento, e conseqüentemente do desempenho térmico de cada componente assim como da edificação ao todo.

Sendo um elemento importante das construções, pois além de ter a função de proteger as construções da ação direta de chuvas, ventos e radiação solar, as coberturas têm a função de ser um elemento direto na avaliação das variáveis de conforto térmico assim como os outros elementos tem sua grande importância na capacidade de desempenhar um bom comportamento térmico, segundo peralta (2006).

As coberturas constituem parte fundamental em edificações, protegendo tanto a própria edificação quanto os usuários dos efeitos nocivos do clima. Esta proteção, no entanto, depende das propriedades térmicas dos elementos da cobertura que poderão gerar condições internas mais adversas do que a do meio externo. As coberturas devem responder com eficiência a diversos fatores, como desempenho estrutural, térmico e acústico, estanqueidade, proteção contra incêndio, entre outros.(Peralta, p.33, 2006).

Além de levar em consideração as características em relação às estruturas térmicas acústicas e outras, as variáveis climáticas de cada região e de sua relação com as propriedades térmicas dos materiais, são de extrema importância para o estudo, pois são fatores que levam a possibilitar estudar coberturas com conforto térmico de acordo com o clima predominante na região, ou seja, em regiões no nordeste se procuram coberturas e casas que tenham melhor desempenho em relação ao calor, que proporcionem aos moradores residências mais frias e mais ventiladas.

3.5.1 TIPOS DE COBERTURAS

Existe uma vasta gama de coberturas no mercado, como coberturas com telha cerâmica, fibrocimento, telhado verde, telhas metálicas entre outras.

O telhado dispõe de condições para resfriar as instalações, mas se ele não executa bem esta função poderá apresentar problemas enormes às instalações. O telhado é um dos elementos da instalação das residências mais exposto ao sol quase metade do calor ganho é através dele. Por outro lado, o telhado abre uma gama extensiva de possibilidades para dissipar o calor da instalação.

Em regiões com clima quente, alta resistência térmica nas horas mais quentes do

dia pode reduzir o efeito da radiação solar.

Mas no caso de aumentando a resistência térmica, poderá reduzir a transferência de calor do telhado no período noturno, que é mais fresco. No caso de baixa temperatura superficial do telhado leva a também uma baixa condução de calor para o interior da instalação, A energia solar absorvida ocasiona aumento da temperatura do telhado em comparação com a temperatura do ar ambiente.

A utilização de materiais refletivos à radiação solar traz benefícios econômicos por permitir a redução do ganho de calor pelos telhados visto que uma cobertura exposta ao sol atua como coletor de energia solar. O material ideal para a telha deve atender às recomendações com as quais a superfície superior tenha alta refletividade solar e alta emissividade térmica e a superfície inferior tenha baixa refletividade solar e baixa emissividade térmica.

3.5.1.1 Telha cerâmica

É sabido que as telhas cerâmicas tradicionais são porosas, portanto, permeáveis. Segundo as análises experimentais do trabalho de Ferraz 2012, foi demonstrado experimentalmente que as telhas porosas no caso das cerâmicas absorvem umidade do ar no período noturno, ficando com maior temperatura, e perdem esta umidade no período diurno, ficando com menor temperatura diurna sem flutuações consideráveis, ou seja, possuem baixa amplitude térmica, através de simulação o equilíbrio térmico das telhas porosas se dá pela presença de umidade nas mesmas.

Ciente destas condições supôs-se que o desempenho térmico da cobertura com telha cerâmica apresentasse funcionamento semelhante ao da cobertura verde, ao menos nos períodos mais úmidos do ano e isto foi comprovado através dos resultados das medições.

3.5.1.2 Cobertura verde

O São novos métodos de coberturas que vem sendo muito utilizadas em edifícios comerciais e residências como solução para o conforto térmico e uma alternativa para se fazer a própria plantação de verduras como alternativa para falta de

áreas para as plantações de verduras e outras plantas.

Segundo Ferraz 2012, As coberturas verdes fazem parte da arquitetura vernácula há séculos como solução para regulação térmica das edificações. A maneira mais simples de definir as coberturas verdes é dizer que são telhados com plantas em cima.

Os telhados vegetados trazem muitas vantagens para o ambiente, pois podem a redução da carga térmica no interior da edificação, e ainda pode ser utilizados para caso de construção de horta, embora este tipo de cobertura ainda seja muito adotado no estudada Brasil, alguns estudos sobre este assunto já foram realizados tanto em nosso país quanto no exterior e apresentaram resultados.

No Brasil, segundo estudos de Lamberts (2010) para investigar Por fim, a simulação computacional foi utilizada para comparar o comportamento dos diferentes tipos de cobertura existentes na Casa. Os resultados mostraram que, tanto a cobertura com telha metálica (sala), quanto à com telha de barro (quarto de casal), promovem grande ganho de calor no período diurno, durante o verão, e grande perda de calor no período noturno, durante o inverno, significando que elas ganham e perdem calor nos momentos mais indesejados. Já o telhado vegetado tem maiores ganhos de calor no período noturno e ganhos menores, ou até perdas, de calor no período diurno. Desta forma, o telhado vegetado mostrou ser a cobertura que mais favorece o desempenho térmico da Casa.

O estudo de Lamberts (2010) foi feita para investigaram a influência de uma cobertura verde extensiva no desempenho térmico de uma casa experimental monitorada termicamente na cidade de Florianópolis – SC, em comparação às telhas cerâmicas e metálicas. Os sensores instalados internamente monitoraram a temperatura do ar de altura, temperatura superficial do teto em um ponto e o fluxo de calor entre a superfície do teto e o ar interior. Os sensores alocados externamente monitoraram as temperaturas superficiais de paredes e coberturas, e, para a cobertura verde, sensores de temperatura adicionais foram alocados em cada camada componente da cobertura.

As variáveis ambientais também foram obtidas através de uma estação meteorológica próxima ao local da pesquisa.. Os autores puderam concluir que a cobertura verde reduziu consideravelmente o ganho de calor em períodos quentes

(92% quando comparado com a cobertura cerâmica e 97% quando comparado com a cobertura metálica) e aumentou sua perda (49% quando comparado com a cobertura cerâmica e 20% comparando com a cobertura metálica).

Além disso, ela continuou a reduzir os ganhos de calor (70% em relação à cobertura cerâmica e 84% em relação à cobertura metálica) e ainda diminuiu a perda de calor nos períodos frios (44% em relação à telha cerâmica e 52% em relação à telha metálica). A cobertura verde também apresentou a menor amplitude térmica em relação às temperaturas superficiais externas e menor amplitude térmica durante o período de calor, entretanto, amplitude similar à dos outros tipos de cobertura durante o período frio. Os autores ressaltaram que a geometria, posicionamento e sombreamento das coberturas são diferentes entre si. Por fim os autores concluíram que as coberturas verdes contribuem para o bom desempenho térmico da edificação em condições de clima temperado, entretanto, os parâmetros de projeto devem ser pensados de modo a evitar um desempenho fraco durante o inverno.

Apesar de todos os estudos acima relacionados e diversos outros, ainda faltam informações quantitativas sobre o potencial dos ambientes quando se usa a cobertura verde, principalmente em se tratando da sua aplicação em edificações de médio e pequeno porte, abaixo temos o modelo de uma cobertura verde utilizada em Florianópolis.

3.6 Desempenho térmico das coberturas

3.6.1 Desempenho térmico

Parte da ABNT NBR 15575 apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas, conforme definições, símbolos e unidades da ABNT NBR 15220-1 e ABNT NBR 15220-3.

Apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática. No caso de coberturas que não atendam a esse critério simplificado, a verificação do atendimento ou não do desempenho térmico da edificação como um todo deve ser realizada de acordo com a norma ABNT NBR 15.575 – Parte 1.

3.6.2 Transmitância térmica

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das coberturas, considerando fluxo térmico descendente, em função das zonas bioclimáticas, encontram-se indicados no Quadro 6. O nível mínimo para aceitação é o M (denominado mínimo), ou seja, atende ao critério, a zona bioclimática estudada é a 8 possuindo nível de desempenho M , com transmitância de $U \leq 1,5$ FV.

Quadro 6: Tabela de Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.

Transmitância térmica (U) W/m ² K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV
α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.				

Fonte 6: NBR 15775-5 (ABNT,2003)

3.6.3 PMV e PPD

A equação de conforto térmico foi expandida para englobar uma grande gama de sensações térmicas, utilizando-se o Voto Médio Estimado (PMV), através de análises estatísticas estudos de Fanger, de acordo com a Equação (3), Equação do PMV.

$$PMV = (0,030t - 0,036M + 0,028) \cdot L \quad (3)$$

Onde:

PMV = Voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto

M = Atividade desempenhada pelo indivíduo

L = Carga térmica atuante sobre o corpo A escala sétima da ASHRAE, ou escala de sete pontos utilizada nos estudos de Fanger, é usada para determinar a real sensação térmica das pessoas:

A escala de sete pontos utilizada nos estudos de Fanger, é usada para determinar a real sensação térmica das pessoas (Quadro 7).

Quadro 7 – Escala de Conforto

+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Levemente Quente
0	Neutro
-1	Levemente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Fonte: MATOS (2007)

Sendo de uma sensação de muito quente a muito frio.

3.7 Softwares utilizados em estudos

3.7.1 ENERGYPLUS

Com o avanço de tecnologias de aplicativos que podem permitir e estudos e influência do clima e das variáveis na construção civil, permitindo a simulação do conforto térmico em relação aos materiais empregados na construção da residência e o seu comportamento térmico.

Um dos softwares que desenvolvem essas formulações é o ENERGYPLUS, um programa desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, criado com o objetivo principal de estimar trocas térmicas, níveis de iluminação e consumo energético de edifícios, a partir da modelagem física do edifício, sendo um dos mais utilizados nas análises termo-energéticas de edificações.

No Brasil em 2004 foi assinado um convênio de cooperação técnica entre a ELETROSUL, ELETROBRÁS/PROCEL e a UFSC para o desenvolvimento de um projeto de uma casa que permita estudar o seu conforto térmico tanto na fase de projeto quanto após a construção da Casa, possibilitando análises detalhadas do desempenho termo-energético da Casa foram feitas todas as análises na própria casa e em simulações com softwares, para permitir e facilitar algumas análises de desempenho térmico dos componentes construtivos.

Algumas simulações ocorreram na própria casa projetada especialmente para o estudo de caso, e outras foram feitas com simulações utilizando o ENERGYPLUS, no caso de simulações no próprio ambiente, foi possível estudar o uso da ventilação natural

e do uso do aquecimento solar passivo e como resultado final destas primeiras simulações, segundo LAMBERTS, R. et al. (2010) .

Concluiu-se que o uso dessas estratégias em uma configuração única resultaria em um melhor desempenho termo-energético da edificação. Foi possível diminuir o consumo energético e melhorar as condições de conforto térmico para os usuários. Tal configuração corresponde ao adotado no projeto arquitetônico da Casa Eficiente (LAMBERTS, R. et al, 2010,p.14).

A utilização do aquecimento solar passivo através da variação das aberturas das persianas no período diurno do inverno permitiu o aumento do conforto térmico dos usuários nos ambientes da casa. Os resultados apontaram que a abertura das persianas no período diurno, ao permitir o aproveitamento do sol para aquecimento no inverno, favoreceu o conforto térmico dos usuários nos ambientes da Casa.

As simulações também foram realizadas para comparara o comportamento de diferentes tipos de coberturas, onde se simulou as coberturas de telhas metálicas, de barro e o telhado verde em diferentes pontos da casa, a cobertura metálica colocada na sala e de barro no quarto do casale e a cobertura verde no quarto de solteiro e banheiro, e de acordo com as simulações para esses ambientes concluíram que a cobertura verde mostrou ser a cobertura que mais favorece o desempenho térmico da Casa. A cobertura metálica e de barro permitiram grande ganho de calor no período diurno, durante o verão, e grande perda de calor no período noturno, durante o inverno, significando que elas ganham e perdem calor nos momentos mais indesejados. Já o telhado verde tem maiores ganhos de calor no período noturno e ganhos menores, ou até perdas, de calor no período diurno.

Todos os estudos realizados demonstraram a importância e grande utilidade da simulação computacional nas análises das edificações. Com elas, foi possível o comportamento térmico e consumo energético da edificação, mesmo antes da sua construção.

3.7.2 DOMUS

Segundo a revista AECweb, Para enfrentar a dificuldade que os projetistas têm de trabalhar com os softwares de simulação de eficiência energética disponíveis no país, a Eletrobras investiu e lança próximo o Domus Procel Edifica, um software brasileiro com uma plataforma de fácil utilização, pois os softwares estrangeiros utilizados exigem especialização dos profissionais como os softwares Design Builder e o Energyplus e são plataformas feitas para análises de edifícios norte-americanos e europeus, onde as providências de isolamento térmico são fundamentais para reter o calor, enquanto que o desafio no Brasil é de refrigeração.

O Domus considerou as características climáticas do Brasil e as exigências do Procel Edifica, que faz avaliações do desempenho energético da envoltória do edifício no verão e no inverno, regiões bioclimáticas do país. Além disso, a base de dados dos materiais construtivos do software brasileiro considera a temperatura e a umidade, o que os estrangeiros não fazem. É um software que possui todos os parâmetros de análises da ABNT de desempenho, como características do material e as propriedades térmicas do mesmo, facilitando o trabalho com simulações voltadas para o estudo de residências no Brasil.

4. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa foi à modelagem de uma casa definindo parâmetros importantes para a realização da simulação computacional como geometria, tipo de vedação, tipo de coberturas, tomando como base as recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2003) para a cidade de Caraúbas, e também foi tomado com base um Anexo da portaria Inmetro Nº 50/ 2013, onde tem um catalogo com vários materiais.

Através das variáveis faremos as simulações através de um software Domus, possíveis situações que possam gerar um melhor ambiente de conforto em relação à cobertura adotada e dos materiais de construção da casa.

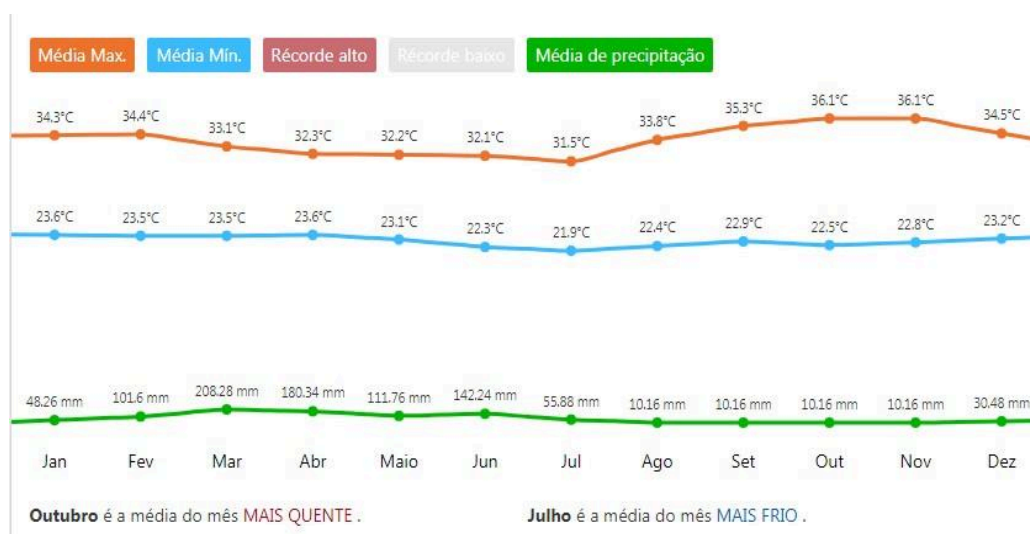
4.1 Modelagem de casa

Casa padrão muito utilizada no município de Caraúbas, com lote padrão de terreno 10x20 metros, residência popular de baixo padrão, muito utilizada como padrão de residência para as casas do programa do governo federal, Minha Casa Minha Vida. Para as simulações foram colocadas 2 janelas e 1 porta. Serão simuladas situações com variações de vedações para cada cobertura.

4.2 Dados da posição do sol

Para as análises foram utilizadas os dados de localização geográficos para ter uma localização precisa do local para o estudo, com latitude de $-05,79^\circ$ e longitude de $37,50^\circ$. As posições do Sol foram variadas ao longo do dia para obter a real situação de um dia em uma residência em Caraúbas.

Figura 6: Clima



Fonte 6: <https://weather.com/pt-BR/clima/mapas/interactive/l/BRXX1454:1:BR>

De acordo com dados da tabela acima, com as temperaturas entre todo o ano, entre todo o ano o período mais quente é o mês de outubro, chegando a 36,1° C, sendo analisados dados para o mês de outubro.

4.3 Condições Bioclimáticas

Para a região em onde temos muitos meses sem chuva intercalados com alguns meses chuvosos, Aliar estratégias que atendam aos períodos secos e também aos chuvosos é um caso complexo, mas temos muitas formas para deixar nas condições climáticas ideal. No caso da cidade de Caraúbas com clima extremamente quente, poderiam ser utilizadas áreas bastante ventiladas e com grande incidência de árvores ao seu redor para permitir o sombreamento e diminuir a incidência dos raios solares sobre a casa, outra alternativa seria a utilização materiais e sistemas construtivos leves, como materiais de madeira ou drywall.

4.4 Matérias escolhidos para simulação.

Todos os materiais escolhidos para as análises foram tomados como base os matérias encontrados na região de Caraúbas, o que seria mais usual e de fácil acesso. No quadro 8 temos algumas propriedades que serão analisados, todos tomados com base a NBR 15220-3.

4.4.1. Tipo de Vedações:

Foram definidas três diferentes composições para a variação das vedações:

- Alvenaria de concreto com espessura de 9 e 14 cm.
- Alvenaria de bloco cerâmico com espessura de 10 e 14 cm.

As paredes foram construídas de acordo com as especificações dadas pela Norma 15220-3:2003 da ABNT, relacionadas no Quadro 8.

Quadro 8: Propriedades Térmicas

Material	(Densidade de Massa Aparente) [kg/m ³]	(Condutividade Térmica) [W/(m.K)]	(Calor Específico) [kJ/(kg.K)]
Cerâmico	1600	0,90	0,92 ¹
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

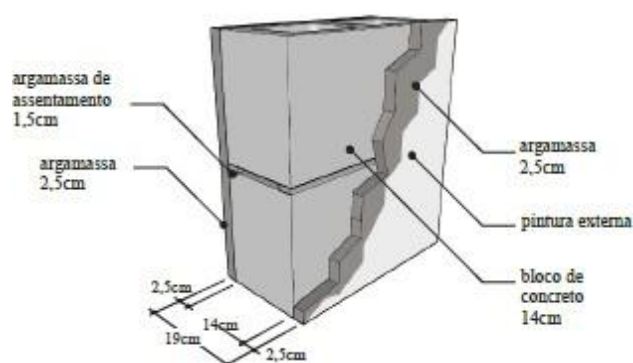
Fonte 8: NBR 15220-3 (ABNT,2003)

4.4.1.1 Alvenaria com bloco de concreto

4.4.1.1.1 Alvenaria de concreto com espessura de 14 cm.

Para a alvenaria de bloco concreto foi utilizado bloco com dimensões de 14,0x19,0x39,0 cm, com reboco de 2,5 cm para cada lado, ficando com espessura total de 19,0 cm. Transmitância total de 2,69 W/m². K e capacidade térmica de 272 KJ/m². K, conforme ilustrado na Figura 6 abaixo.

Figura 7: Alvenaria de concreto.

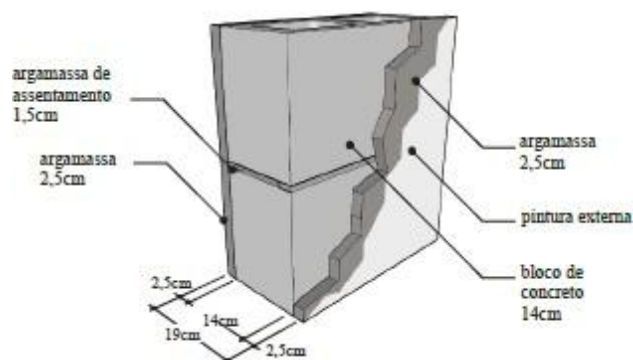


Fonte 7: catálogo do INMETRO

4.4.1.1.2 Alvenaria de concreto com espessura de 9 cm.

Para a alvenaria de bloco concreto foi utilizado bloco com dimensões de 9,0x19,0x39,0 cm, com reboco de 2,5 cm para cada lado, ficando com espessura total de 14,0 cm. Transmitância total de 2,78 W/m². K e capacidade térmica de 209 KJ/m². K, conforme ilustrado na figura 8 abaixo.

Figura 8: Bloco de concreto



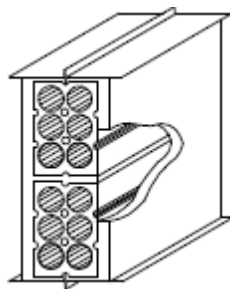
Fonte 8: Catálogo do INMETRO

4.4.1.2 Alvenaria de bloco cerâmico

4.4.1.2.1 Alvenaria de bloco cerâmico com espessura de 10 cm.

Para a alvenaria de bloco cerâmico foi utilizado paredes de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão, com dimensões de 10,0x15,0x20,0 cm, com espessura de reboco de 2,5 cm para cada lado, ficando com espessura total de 15,0 cm. Atraso térmico de 3,7 horas, transmitância total de 2,28 W/m². K e capacidade térmica de 168 KJ/m². K, conforme ilustrado na figura 9 abaixo.

Figura 9: Parede de tijolo 6 furos

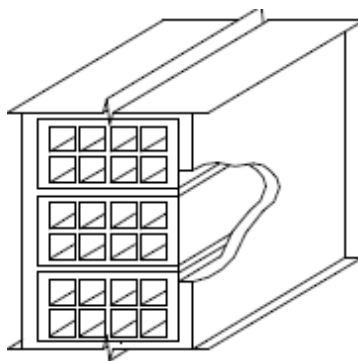


Fonte 9: ABNT 15220-3

4.4.1.1.2.2 Bloco cerâmico com espessura de 14 cm.

Para a alvenaria de bloco cerâmico foi utilizado paredes de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão, com espessura de reboco de 2,5 cm de cada lado, ficando com espessura total de 19,0 cm. Atraso térmico de 3,7 horas, transmitância total de 1,92 W/m². K e capacidade térmica de 202 KJ/m². K.

Figura 10: Parede de tijolo 6 furos



Fonte 7: ABNT 15220-3

4.4.2 TIPOS DE COBERTURA

Foram definidas três diferentes composições para a variação da cobertura, essas composições foram baseadas conforme a grande disponibilidade desses telhados na região.

- Cobertura de telha cerâmica.
- Cobertura de laje impermeabilizada.
- Cobertura de telha de fibrocimento sem forro.

Quadro 9: Propriedades térmicas dos materiais utilizados nas coberturas

Material	(Densidade de Massa Aparente) [kg/m ³]	(Condutividade Térmica) [W/(m.K)]	(Calor Específico) [kJ/(kg.K)]
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibrocimento	1900	0,95	0,84
Madeira	600	0,14	2,30
Concreto	2200	1,75	1,00
Lâmina de alumínio polido ($\epsilon < 0,2$)	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70

Fonte 9: ABNT 15220-3

4.4.2.1 Cobertura de telha cerâmica.

Para a cobertura com telha cerâmica, foi utilizada uma telha de espessura de 1,0 cm, Atraso térmico de 0,3 horas, transmitância total de 4,55 W/m². K e capacidade térmica de 18 KJ/m². K.

Figura 11: Telha cerâmica



Fonte 8: Catálogo do INMETRO

4.4.2.2 Cobertura de telha fibrocimento

Para a cobertura com telha fibrocimento, foi utilizada uma telha de espessura de 0,7 cm, Atraso térmico de 0,2 horas, transmitância total de $4,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e capacidade térmica de $11 \text{ KJ/m}^2 \cdot \text{K}$. Essa é uma cobertura muito usada pela população de baixa renda devido ao baixo custo do produto.

Figura 12: Telha de fibrocimento

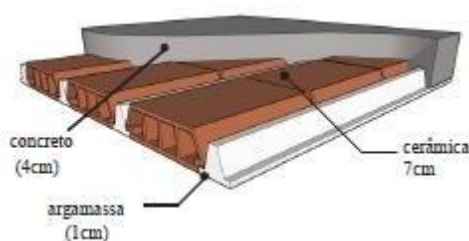


Fonte 9: Catálogo do INMETRO

4.4.2.3 Laje

Para a cobertura de laje impermeabilizada, foi utilizada um laje pré-moldada de espessura de 12cm, com 4cm de concreto, lajota de 7cm e argamassa de 1cm, Atraso térmico de 0,2 horas, transmitância total de $2,95 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e capacidade térmica de $167 \text{ KJ/m}^2 \cdot \text{K}$. Essa tipo de laje é muito usada em comparação a lajes maciças.

Figura 13: Cobertura com laje

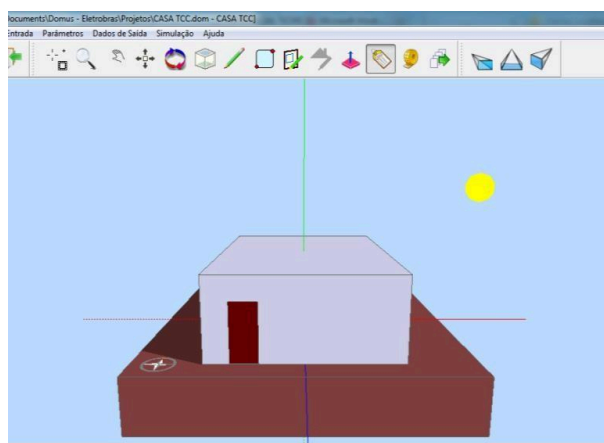


Fonte 13: Catálogo do INMETRO

4.5 Etapas de Simulação.

A residência foi definida de acordo com os padrões de terrenos encontrados em Caraúbas, com medidas de 10x20 metros, sendo feito recuos de 1,5 de cada lado e 5 na frente e atrás do terreno, deixando com 7 metros por 10 metros, com 3 janelas e 2 portas de madeira, nas medidas conforme especificadas ao longo do trabalho, também medidas muito comuns das utilizadas atualmente nas residências de Caraúbas.

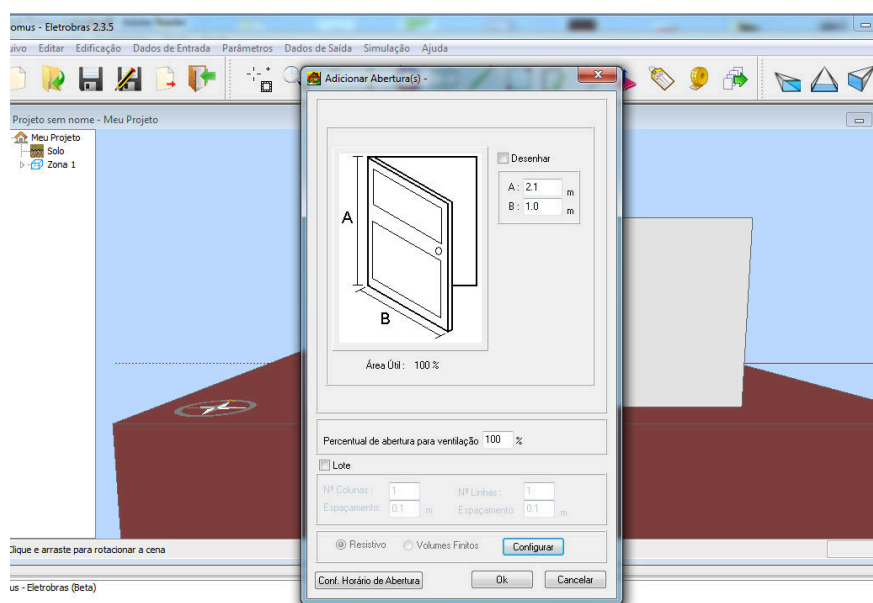
Figura 14: Planta da casa



Fonte 14: O autor (2017)

O programa já defini tamanhos padrões utilizados no Brasil, Foram inseridas 2 portas de 1,0x2,10m, de madeira uma na entrada e outra na saída da residência.

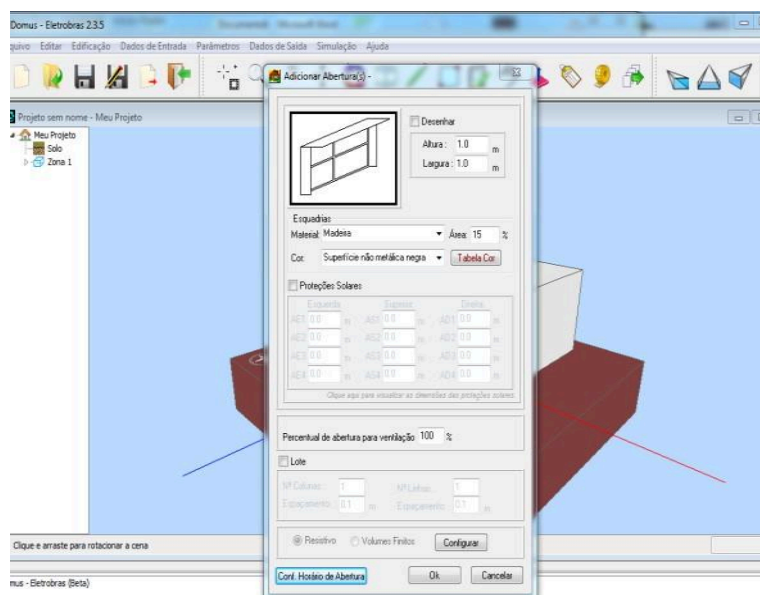
Figura 15: Inserindo portas



Fonte 10: O autor (2017)

Foram inseridas 2 portas um na entrada e outra na saída da casa

Figura 16: Inserindo janelas

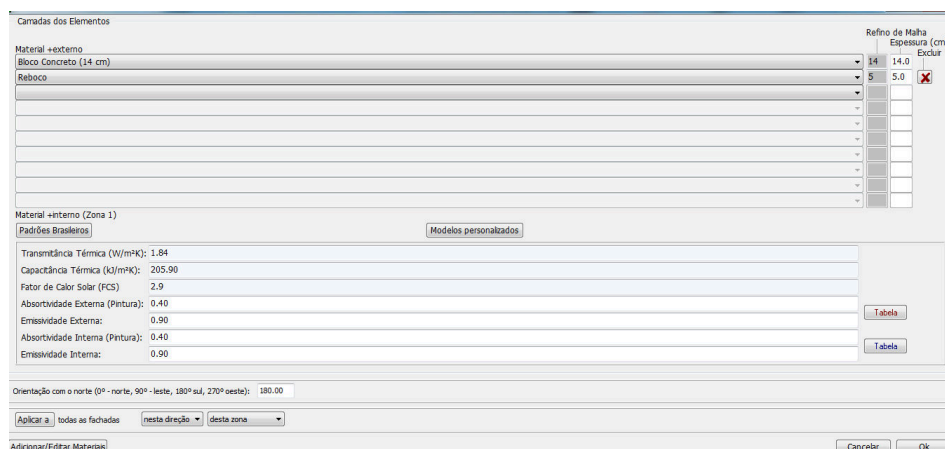


Fonte 16: O autor (2017)

Conforme mostrada na figura 16 acima, foram inseridas 3 janelas de 1,0x1,0 m de madeira, uma em uma lateral e as outras 2 na outra lateral, sendo deixadas portas e janelas de madeiras, pois são as mais usuais na região em estudo.

Logo após a definição das características geométricas da residência e colocação de portas janelas e coberturas, serão inseridas as características dos materiais das paredes e coberturas que terão nossa residência.

Figura 17: características de paredes e coberturas

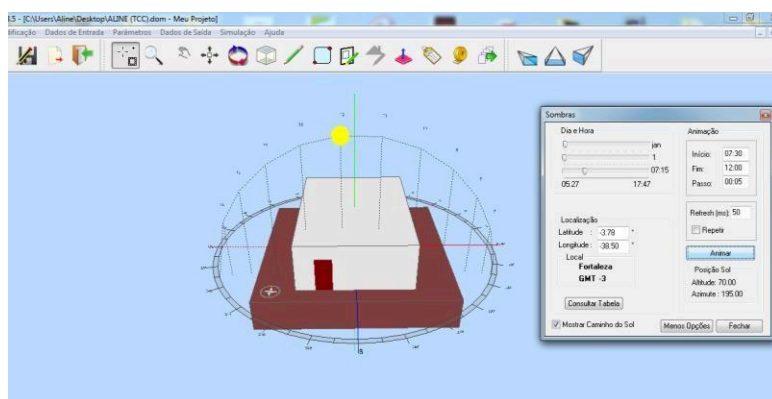


Fonte 17: O autor (2017)

As paredes para as simulações foram colocadas paredes com tijolos de 6 furos circular de 10 cm, tijolos de 6 furos quadrados com 14 cm, bloco de concreto de 9 cm e de 14 cm segundo as especificações da ABNT e com espessura de reboco de 2,5 cm em cada lado da parede. Para as superfícies externas e internas foram colocadas cores claras com absortividade de 0,40 e emissividade de 0,90, tanto para dentro como para fora, foram utilizadas cores claras.

É possível se ter a uma noção de como fica a posição do sol em relação às horas do dia e ao mês.

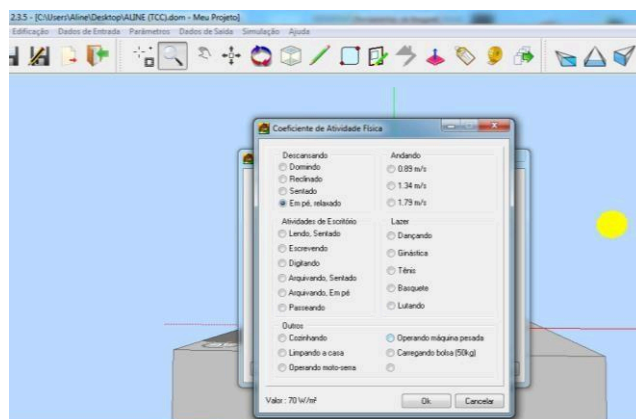
Figura 18: Posição solar



Fonte 18: O autor (2017)

Para o estudo do posicionamento solar, utilizaremos os dados de latitude e longitude da cidade de Fortaleza, onde tem latitude de -3.78° e longitude de $-38,53^\circ$, valores bem próximos da nossa cidade de referência, que possui latitude de -05.79° e longitude de 37.55° .

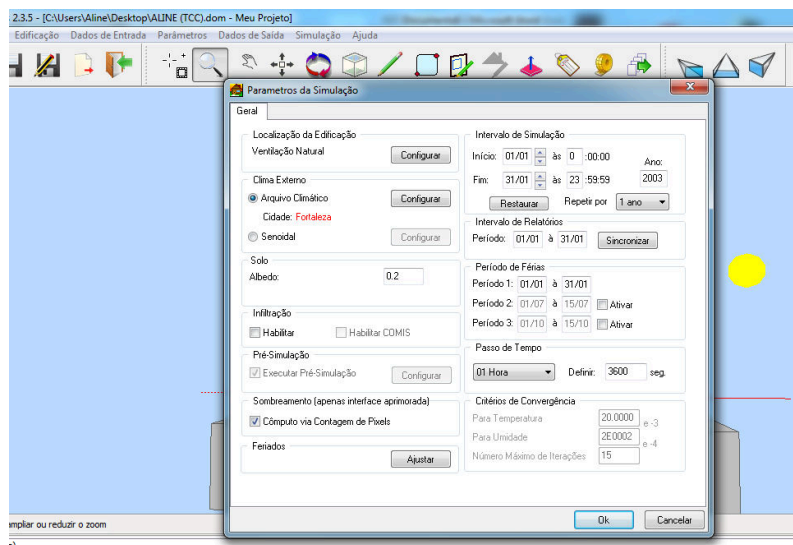
Figura 19: Características das pessoas



Fonte 19: O autor(2017)

Foram definidas que a residência teria 5 pessoas, para fazer as percepções em relação ao ambiente.

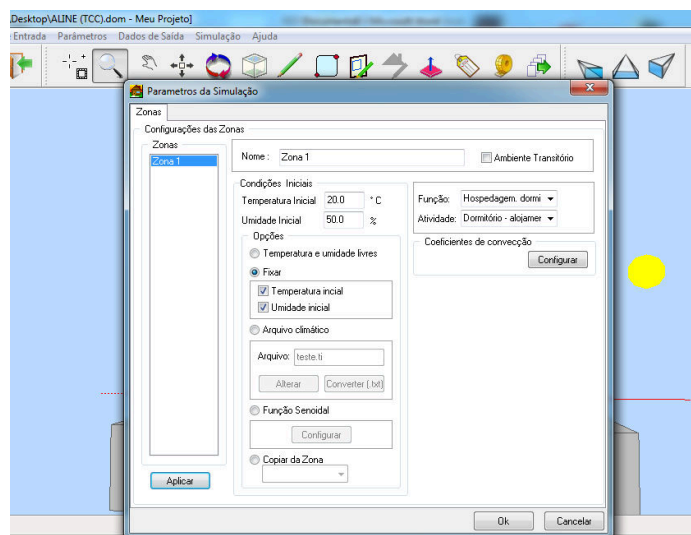
Figura 20: Definições climáticas



Fonte 20: O autor (2017)

Em seguida, foram inseridos os parâmetros gerais, nos quais será escolhida a zona de estudo e uma cidade que possua arquivos bioclimáticos parecidos com os nossos, conforme mostrada na figura 20.

Figura 21: Temperatura e umidade



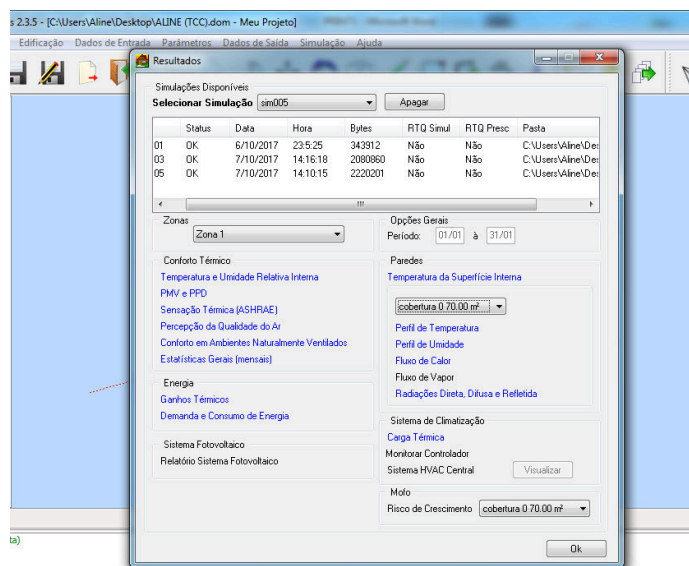
Fonte 21: O autor(2017)

Na definição das zonas, iremos definir as temperaturas iniciais e finais do nosso local de estudo e a umidade inicial, segundo dados climáticos de Caraúbas, as temperaturas mais quentes são as do mês de outubro chegando a 36.1° e o mês de julho

o mais frio com 21.9°, iremos colocar com temperatura inicial de 20° C e umidade de 50%, conforme a figura 21 acima.

Depois de colocados todos os dados que queremos que tenha no nosso estudo, executamos a simulação e em dados e visualizar podemos obter todos os gráficos que forem escolhidos para análises, nas nossas análises serão estudos os dados de temperatura e umidade, PMV e PDD.

Figura 22: Resultados



Fonte 22: O autor (2017)

4.6 Parâmetros de simulações

4.6.1 Simulações com tijolo cerâmico de 6 furos de 10 cm, com os 3 tipos de coberturas.

4.6.1.1 Telha cerâmica

Foi considerada um residência com 5 pessoas, de alvenaria de tijolo cerâmico com tijolos de 6 furos circular com 10 cm, segundo as especificações da ABNT, com espessura de reboco 2,5 cm em cada lado da paredes, ficando com 5 cm de reboco, com espessura total de 15 cm, absorvidade e emissividade das paredes externas foram utilizadas pinturas com superfícies de cor clara com absorvidade 0,40 e emissividade 0,90, e cobertura de telha cerâmica com 1 cm.

Materiais:

- Parede de tijolo cerâmico 6 furos

- Telha cerâmica
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.1.2 Telha de fibrocimento

As paredes com mesmas especificações conforme a simulação, agora mudando só a cobertura, com telha de fibrocimento.

Materiais:

- Parede de tijolo cerâmico 6 furos
- Telha de fibrocimento
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.1.3. Laje

As paredes com mesmas especificações conforme a simulação, agora mudando só a cobertura, que será laje de concreto com 20 cm.

Materiais:

- Parede de tijolo cerâmico 6 furos
- Laje de concreto
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.2 Simulações com tijolo cerâmico de 6 furos quadrados com 14 cm, com os 3 tipos de coberturas.

4.6.2.1 Telha cerâmica

Foi considerada um residência com 5 pessoas, de alvenaria de tijolo cerâmico com tijolos de 6 furos quadrados com 14 cm, segundo as especificações da ABNT, com espessura de reboco 2,5 cm em cada lado da paredes, ficando com 5 cm de reboco, com espessura total de 19 cm, absorvidade e emissividade das paredes externas e internas foram utilizadas pinturas com superfícies de cor clara com absorvidade 0,40 e emissividade 0,90, e cobertura de telha cerâmica com 1 cm.

Materiais:

- Parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados

- Telha cerâmica
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.2.2 Telha de fibrocimento

As paredes com mesmas especificações conforme a simulação, agora mudando só a cobertura, com telha de fibrocimento.

Materiais:

- Parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados.
- Telha de fibrocimento
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.2.3 Laje

As paredes com mesmas especificações conforme a simulação, agora mudando só a cobertura, que será laje de concreto com 20 cm.

Materiais:

- Parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados.
- Laje de concreto
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.3 Simulações com bloco de concreto com 9 cm, com os 3 tipos de coberturas

4.6.3.1 Telha cerâmica

Foi considerada um residência com 5 pessoas, de alvenaria de bloco de concreto com 9 cm, segundo as especificações da ABNT, com espessura de reboco 2,5 cm em cada lado da paredes, ficando com 5 cm de reboco, com espessura total de 14 cm, absorvidade e emissividade das paredes externas e internas foram utilizadas pinturas com superfícies de cor clara com absorvidade 0,40 e emissividade 0,90, e cobertura de telha cerâmica com 1 cm.

Materiais:

- Parede de bloco de concreto.
- Telha cerâmica
- Pintura nas paredes externa e interna.

- 5 pessoas na residência

4.6.3.2 Telha de fibrocimento

As paredes com mesmas especificações conforme a simulação, agora mudando só a cobertura, com telha de fibrocimento.

Materiais:

- Parede de bloco de concreto
- Telha de fibrocimento
- Pintura nas paredes externa e interna
- 5 pessoas na residência

4.6.3.3 Laje

As paredes com mesmas especificações conforme a simulação, agora mudando só a cobertura, que será laje de concreto com 20 cm.

Materiais:

- Parede de bloco de concreto
- Laje de concreto
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.4 Simulações com bloco de concreto com 14 cm, com os 3 tipos de coberturas.

4.6.4.1 Telha cerâmica

Foi considerada um residência com 5 pessoas, de alvenaria de bloco de concreto com 14 cm, segundo as especificações da ABNT, com espessura de reboco 2,5 cm em cada lado da paredes, ficando com 5 cm de reboco, com espessura total de 19 cm, absorvidade e emissividade das paredes externas e internas foram utilizadas pinturas com superfícies de cor clara com absorvidade 0,40 e emissividade 0,90, e cobertura de telha cerâmica com 1 cm.

Materiais:

- Parede de bloco de concreto.
- Telha cerâmica
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.4.2 Telha de fibrocimento

As paredes com mesmas especificações conforme a simulação, agora mudando só a cobertura, com telha de fibrocimento.

Materiais:

- Parede de bloco de concreto.
- Telha de fibrocimento
- Pintura nas paredes externa e interna.
- 5 pessoas na residência

4.6.4.3 Laje

As paredes com mesmas especificações conforme a simulação, agora mudando só a cobertura, que será laje de concreto com 20 cm.

Materiais:

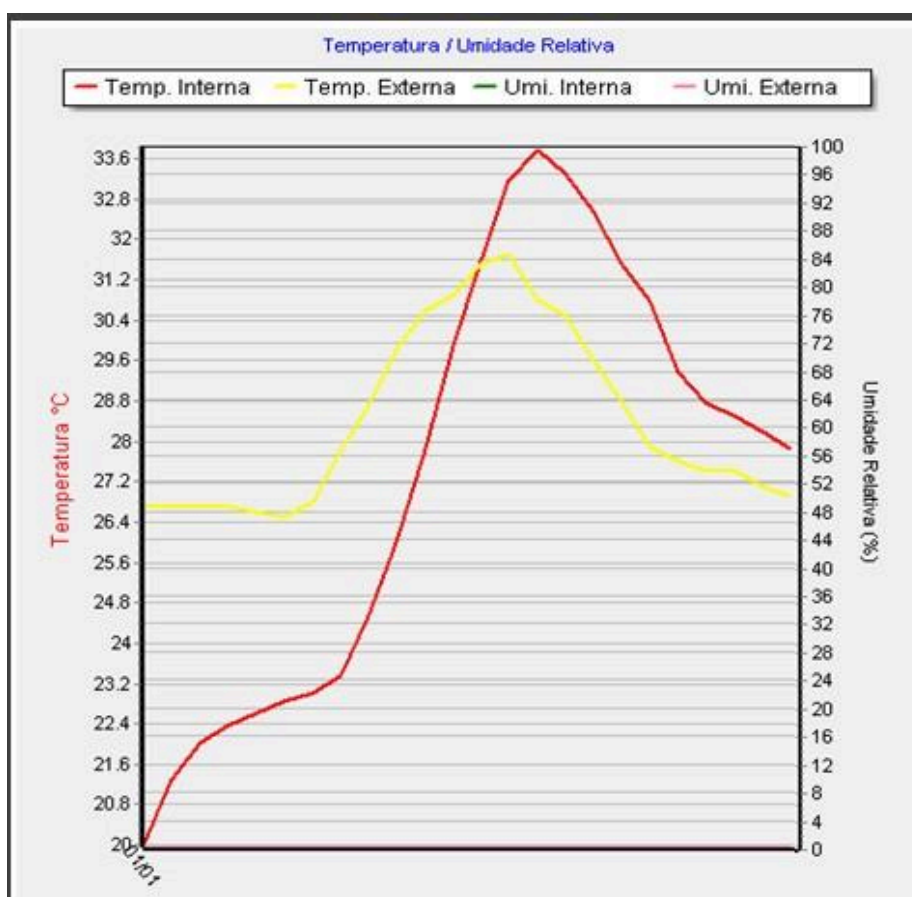
- Parede de bloco de concreto.
- Laje de concreto
- Pintura nas paredes externa e interna.

5. RESULTADOS

Segundo os valores obtidos para cada ensaio através de planilhas e gráficos, podemos obter as temperaturas mínimas e máximas de cada ambiente simulado e das sensações térmicas para as 5 pessoas inseridas para o estudo.

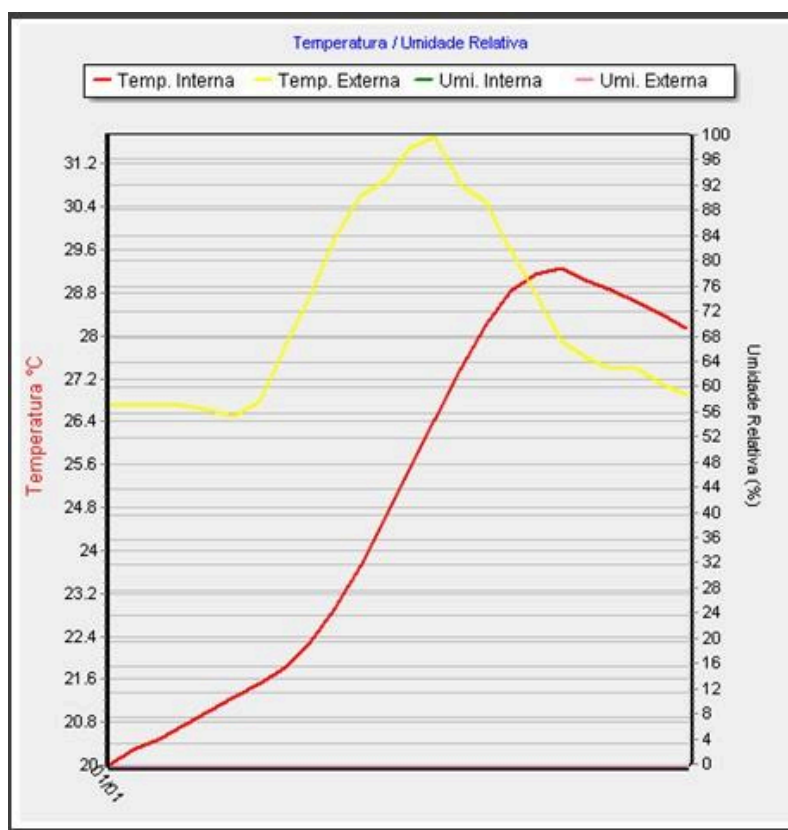
Conforme as figuras 23 e 14 dos gráficos abaixo obtidos pelo programa Domus da simulação, os gráficos das telhas cerâmicas e fibrocimento têm valores muito próximos por optou-se por uma representação gráfica para mostrar, mas abaixo temos quadros com esses valores de temperatura mínima, máxima e PMV.

Figura 23: Telha cerâmica e fibrocimento



Fonte 23: Programa Domus (2017)

Figura 24: Cobertura com laje



Fonte 24: Programa Domus (2017)

A figura 24 é da cobertura da Laje, apresenta uma configuração diferente dos outros gráficos, é o que apresenta um comportamento bem diferente das demais.

Para as simulações com tijolos cerâmico de 10 cm com as coberturas variando, podemos obter os seguintes dados:

Valores das Análises de Temperatura e Sensação Térmica		
Telha Cerâmica	Telha de Fibrocimento	Laje de concreto
Temperatura Mínima=20°C	Temperatura Mínima=20°C	Temperatura Mínima=20°
Temperatura Máxima = 34,5°	Temperatura Máxima=34.6°C	Temperatura Máxima=29.4
PMV 2.8	PMV=2,8	PMV=

As telhas cerâmicas e de fibrocimento tem temperaturas muito próximas, chegando a um grau de diferença, e a sensação térmica chegando a ser a mesma, a laje é que apresenta melhor sensação e menor temperatura.

Para as simulações com tijolos cerâmicos de 14 cm, com as coberturas variando, temos os seguintes dados:

Valores das Análises de Temperatura e Sensação Térmica		
Telha Cerâmica	Telha de Fibrocimento	Laje de concreto
Temperatura Mínima=20°C	Temperatura Mínima=20°C	Temperatura Mínima=20°
Temperatura Máxima = 33,7	Temperatura Máxima=33,8°C	Temperatura Máxima=28,7°C
PMV= 2.3	PMV=2,4	PMV= 0.4

Para as simulações com blocos de concreto com 9 cm, com as coberturas variando, temos os seguintes dados:

Valores das Análises de Temperatura e Sensação Térmica		
Telha Cerâmica	Telha de Fibrocimento	Laje de concreto
Temperatura Mínima=20°C	Temperatura Mínima=20°C	Temperatura Mínima=20°
Temperatura Máxima = 34°	Temperatura Máxima=34.1°C	Temperatura Máxima=29.2
PMV 2.4	PMV=2,6	PMV=0.6

Para as simulações com blocos de concreto com 14 cm, com as coberturas variando, temos os seguintes dados:

Valores das Análises de Temperatura e Sensação Térmica		
Telha Cerâmica	Telha de Fibrocimento	Laje de concreto

Temperatura Mínima=20°C	Temperatura Mínima=20°C	Temperatura Mínima=20°
Temperatura Máxima = 33.2°	Temperatura Máxima=33.3°C	Temperatura Máxima=28.1
PMV 2	PMV=2,2	PMV=0.2

As tabelas acima mostram os valores de cada tipo de telha para a alvenaria utilizada, sendo 4 tipos de alvenaria para 3 tipos de coberturas.

De acordo com as tabelas obtidas através das simulações do Domus, podemos perceber que as temperaturas dos ambientes diminuem à medida que se aumentam as espessuras das paredes, conforme é visto nas tabelas dos resultados, em todos as análises de variação das coberturas em relação a cada alvenaria, a cobertura com laje de concreto é a que apresenta menor temperatura em todas as análises, enquanto as coberturas de telha cerâmica e de fibrocimento apresentam comportamentos muito parecidos, sendo percebida a diferença de temperaturas em apenas 1°C de diferença entre as duas, sendo sempre a de fibrocimento com as temperaturas maiores do que as telhas cerâmicas.

Com relação as alvenaria, as alvenarias de maiores espessuras tendem a terem menores temperaturas, pois as alvenarias de tijolo de 10 cm e de bloco de 9 com menores espessuras apresenta maiores temperaturas em relação aos de menores espessuras, e já as alvenarias de tijolo cerâmico de bloco com maiores espessuras como os 14 de tijolo cerâmico e bloco apresentaram temperaturas menores, em relação as de menores espessuras, nesse relação a alvenaria que obteve melhor comportamento térmico para a região em estudo, foi a alvenaria de bloco de concreto com 14 cm de espessura.

Para a sensação térmica do PMV, o ambiente que chegou mais próximos da faixa ideal para a região, foi o a alvenaria de bloco de concreto com 14 cm e com cobertura de laje de concreto, chegando a uma sensação térmica quase neutra, ou seja, nem muito quente nem muito frio, uma temperatura ideal.

6. CONCLUSÕES

De acordo com as normas da ABNT de desempenho e análises climáticas, todos os materiais apresentam características compatíveis com as especificações recomendadas pela norma para o local de estudo, com o estudo é realizado conforme o perfil de residências de casas que se encaixam na zona 8 bioclimática, todos os parâmetros de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico atendem as esse parâmetros para a simulação, então essa já seria uma forma de escolher os matérias adequados para a região que se deseja estudar.

Visto que de acordo com os parâmetros das normas, os materiais atendam aos requisitos apontados pela norma, as análises de melhor relação conforto será analisada pelo software Domus, que permitirá obter dados de temperaturas e sensação térmica de acordo com as pessoas no ambiente, segundo dados das temperaturas a que melhor teve temperaturas mais baixas no ambiente foram às coberturas com laje, e com paredes de maiores espessuras, ficando com temperaturas menores ao longo do dia.

Diante dos dados estudados e apresentados com as simulações, para a cidade de Caraúbas, para uma residência apresentar o melhor conforto térmico, ela teria que ser feita com alvenaria de bloco de concreto de 14 cm com uma cobertura de laje, e com pé direito bem alto para melhor ventilação do ambiente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**, NBR 15220, 2003.

ABNT, **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**, NBR 15220, 2003.

ANEXO GERAL V, **Catálogo de Propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**, Anexo da Portaria Inmetro Nº 50/ 2013.

ARANTES, Beatriz. **Conforto térmico em edificações de interesse social**, Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2012.

BOGO, Amilcar José, **Limitações quanto aos parâmetros de desempenho térmico e estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma brasileira de desempenho térmico de habitações de interesse social**, Florianópolis, 2003.

CLIMA TEMPO. Disponível em: <
<https://weather.com/ptBR/clima/mapas/interactive/l/BRXX1454:1:BR> > Acesso em: 10 de outubro de 2017.

DARIÉN, E Prado. **As Caatingas da América do Sul**, Recife, Ed. Universitária da UFPE, 2003.

FERRAZ, iara lima, **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**, São Paulo, 2012.

IBGE, instituto brasileiro de geografia e estatística. Disponível em:<
<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm> > Acesso em: 18 de julho de 2017.

LAMBERTS, Roberto. et al. **Casa Eficiente: simulação computacional do desempenho termo-energético**, Florianópolis, UFSC/LabEEE, 2010.

MATOS, Michele. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**, Florianópolis, UFSC, 2007.

PÉREZ, J. P. H.; ROMULUS, A.M. **Thermodynamique. Fondements et Applications**. Masson, Paris, 1993.

Revista AECweb, **Domus, o software brasileiro do Procel Edifica**. Disponível em <
https://www.aecweb.com.br/cont/n/domus-o-software-brasileiro-do-procel-edifica_4907
> Acesso em 2 de outubro de 2017.

RORIZ, Maurício, **Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros, conforme a ABNT NBR 15220-3**, São Paulo, 2004.

YOUNG, Hugh D; FREEDMAN, Roger A. **FISICA II: Termodinâmica e Ondas**, 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008. 329 p.