

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOSÉ RONISVAN DA SILVA

**APLICAÇÃO DA LEI DE FOURIER PARA A CONDUÇÃO DO
CALOR NO ACONDICIONAMENTO TÉRMICO DE VACAS
HOLANDESAS**

MOSSORÓ-RN
2014

JOSÉ RONISVAN DA SILVA

**APLICAÇÃO DA LEI DE FOURIER PARA A CONDUÇÃO DO
CALOR NO ACONDICIONAMENTO TÉRMICO DE VACAS
HOLANDESAS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Ruraldo Semi-Árido – UFERSA,
Departamento de Ciências Exatas e Naturais
para a obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Antônio Ronaldo Gomes
Garcia– UFERSA

MOSSORÓ-RN
2014

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

S586a Silva, José Ronisvan da.

Aplicação das leis de Fourier para a condução do calor no
acondicionamento térmico de vacas holandesa. / José Ronisvan
da Silva. -- Mossoró, 2014.

61f.: il.

Orientador: Prof. Antônio Ronaldo Gomes Garcia.

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de
Graduação.

1. Paredes. 2. Raça holandesa. 3. Taxa de transferência de
calor. 4. Temperatura. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT /239-14

CDD (22.ed.) : 621.4022

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba
CRB-15/452

Monografia de Projeto Final de Graduação no Bacharelado em Ciência e Tecnologia sob o título *“Aplicação da Lei de Fourier para a condução do calor no acondicionamento térmico de vacas holandesas”*, defendida por José Ronisvan da Silva e aprovada em 03/03/2014, em Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Antônio Ronaldo Gomes Garcia,
Orientador

Prof. Ma. Maria do Carmo P. de Sousa
Professor

Prof. Dr. Odaír Almeida Neves,
Professor

Dedicatória

*Dedico esse trabalho a Luiz Rosivan da Silva, Francisca Francineide Ferreira da Silva,
João Lucas da Silva e todos aqueles que se dedicam a fazer ciência.*

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais por terem acreditado na minha educação superior e nunca desistirem em meio as dificuldades impostas a eles. Agradeço a toda minha família que sempre me apoiou e, de um modo geral, agradeço também a todos que contribuíram de alguma maneira para minha formação acadêmica.

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

Resumo

A lei de Fourier é uma das melhores ferramentas na resolução de problemas onde há transferência de calor de um ambiente para outro. Saindo de uma única equação chegou-se a formular outras devidamente justificada e demonstrada em cada etapa. A partir dela foi possível modelar as equações que representam as paredes em determinado ambiente fazendo analogia aos circuitos elétricos. Esse problema foi aplicado ao acondicionamento de vacas holandesas na fase de lactação onde se foi criado um ambiente interno que se adequassem as mesmas. Modeladas pelas temperaturas ambiente e interior calculou-se a taxa de transferência de calor de cada uma das paredes envolvidas na confecção das instalações. Optou-se por três tipos de paredes diferentes com isolantes também diferentes. A primeira parede é dupla com isolamento de lã de rocha entre elas. A segunda é uma parede simples com isolamento exterior de EPS (poliestireno expandido ou isopor como é conhecido no Brasil) e a terceira de concreto celular sendo que o mesmo já servia como isolante térmico. De acordo com o coeficiente de condutividade térmica de cada um dos materiais envolvido no isolamento, se obtinha certa resistência a passagem do calor. Quanto maior essa resistência maior foi a eficiência da parede. Baseando-se em trabalhos já feitos anteriormente e no sistema de criação freestall, foi sugerido um tipo de instalação onde as paredes seriam duplas com isolamento de lã de rocha. O telhado por sua vez foi escolhido baseando-se no coeficiente global de transmissão do calor sendo o mais eficiente o teto feito de laje pré-moldada com 12cm de espessura com a mesma feita com concreto EPS e argamassa com câmara de ar maior que 5,0cm e telha cerâmica. Mesmo assim, não é possível construir uma parede, com esses isolantes, sem a necessidade do uso de um sistema de refrigeração adequado, mas o mesmo pode ser reduzido, bastante, o seu tempo de utilização, haja visto que, a potência requerida para resfriar o ambiente é bem menor na presença do isolante.

Palavras-chave: taxa de transferência de calor, raça holandesa, paredes e temperatura.

Abstract

Fourier's law is one of the best tools in solving problems where there is heat transfer from one environment to another. Leaving a single equation was reached formulate other duly justified and demonstrated at every stage. The part it was possible to model the equations that represent the walls in a given environment by analogy to electrical circuits. This problem was applied to packaging of Holstein cows in lactation where an internal environment which fitted the same was created. Modeled by the ambient temperature inside and calculated the rate of heat transfer from each of the walls involved in the production of the facility. We opted for three different types of walls with insulation also different. The first wall is double with rock wool insulation between them. The second is a simple wall with exterior insulation of EPS (expanded polystyrene or Styrofoam as it is known in Brazil) and the third of cellular concrete is that it has served as a thermal insulator. According to the coefficient of thermal conductivity of each of the materials involved in the isolation was obtained a certain resistance to the passage of heat. The greater this resistance was the efficiency of wall. Based on work already done previously and create a freestall system, suggested a type of facility where the walls would be double insulated rock wool. The roof was in turn chosen based on the overall coefficient of heat transmission is the most efficient ceiling made of precast slab with 12cm thick with the same made with concrete EPS and mortar with larger air chamber 5.0cm and ceramic tile. Nevertheless, it is not possible to build a wall with these insulators without the use of a suitable cooling system, but the same can be reduced greatly, its time of use, there is seen that the power required to cool the environment is much lower in the presence of the insulator.

Keywords: rate of heat transfer, Holstein, walls and temperature.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Introdução	p. 15
1 Revisão Bibliográfica	p. 17
1.1 Transferência de calor	p. 17
1.1.1 Condução	p. 17
1.1.2 Convecção	p. 18
1.1.3 Radiação	p. 18
1.2 Lei de Fourier para a condutividade térmica e fluxo de calor	p. 18
1.2.1 Condutividade térmica	p. 19
1.2.2 Transferência de calor por Convecção	p. 20
1.3 Parede plana	p. 21
1.3.1 Taxa de transferência de calor em uma parede plana	p. 21
1.4 Resistência térmica	p. 25
1.5 Parede composta	p. 28
1.5.1 Isolantes térmicos	p. 30
1.5.2 Gado leiteiro	p. 31
1.5.3 Raça Holandesa	p. 32
1.5.4 Instalações	p. 34
1.5.4.1 Sistema intensivo	p. 34

1.5.5	Clima da região de Mossoró	p. 36
2	Metodologia	p. 38
2.1	Desenho das paredes e telhado	p. 39
2.2	Temperatura ambiente externa e interna	p. 41
2.3	Modelagem matemática.	p. 43
2.3.1	Parede com lã de rocha	p. 44
2.3.2	Parede com isolamento exterior de EPS	p. 45
2.3.3	Parede com concreto celular	p. 45
3	Resultados e discursões	p. 47
3.1	Lã de rocha	p. 47
3.2	Isolamento exterior de EPS	p. 48
3.3	Parede com concreto celular	p. 49
3.4	Resultados finais	p. 51
4	Conclusões e Perspectiva Futura	p. 53
	Referências	p. 55
	Anexo 1	p. 57

Lista de Figuras

1	Fluxo térmico em sentido da diferença de temperatura (Nota positiva, 2014)	p. 18
2	Convecção forçada a esquerda e normal ou livre a direita(Barros, 2009)	p. 20
3	Queda da temperatura ao longo do eixo x (Labvirtual)	p. 22
4	representativo de uma parede plana (Çengel 2009)	p. 23
5	Esquematização da resistência térmica(Çengel 2009)	p. 25
6	Circuito em série (Çengel 2009)	p. 28
7	Associação de resistências térmicas (Çengel 2009)	p. 29
8	Zona de conforto térmico animal (Araújo (2001))	p. 33
9	Instalação tipo freestall(ABCP 1996)	p. 35
10	Distribuição das temperaturas no Rio Grande do Norte e região. (IBGE 2013)	p. 37
11	Modelo do sólido formado com o isolamento de paredes em todos os lados (Próprio)	p. 38
12	Paredes duplas com isolante entre as duas paredes (Mendonça 2005) . .	p. 39
13	Parede simples com isolamento exterior de EPS (Adaptado de Berlofa 2009)	p. 40
14	Parede de blocos cerâmica furado acima e tijolos maciços abaixo (LabEEE 2010)	p. 40
15	Concreto celular revestido nos dois lados com reboco (Adaptado de LabEEE 2010)	p. 41
16	Modelo do sólido formado com o isolamento de paredes em todos os lados (Próprio)	p. 42

17	Modelo do sólido formado com o isolamento de paredes em todos os lados (Próprio)	p. 42
18	Representação dos circuitos para os três tipos de paredes. a) Circuito térmico para as parede com isolamentos de lã de rocha. b) Circuito térmico para parede com isolamento externo de EPS. c) Circuito térmico para paredes de concreto celular. (Própria)	p. 43
19	Caracterização da área/volume necessário para elevar 1°C em oito horas com a taxa de $4,07\text{W}$ (Próprio)	p. 48
20	Caracterização da área/volume necessário para elevar 1°C em oito horas com a taxa de $4,07\text{W}$ (Próprio)	p. 49
21	Curva representativa da taxa de transferência de calor de acordo com o aumento da espessura da parede de concreto celular.(Próprio)	p. 50
22	Caracterização da área/volume necessário para elevar 1°C em oito horas com a taxa de $4,65\text{W}$.(Próprio)	p. 51
23	Telhado cerâmico com laje maciça (LabEEE 2010)	p. 57
24	Telhado cerâmico com Laje pré-moldada feita de concreto, lajota cerâmica e argamassa (LabEEE 2010)	p. 57
25	Telhado cerâmico com forro de PVC(LabEEE 2010)	p. 57
26	Telhado cerâmico com forro de madeira(LabEEE 2010)	p. 58
27	Telhado cerâmico com forro de gesso(LabEEE 2010)	p. 58
28	Telhado de fibrocimento com laje maciça (LabEEE 2010)	p. 58
29	Telhado de fibrocimento com laje pré-moldada feita de concreto, lajota cerâmica e argamassa(LabEEE 2010)	p. 58
30	Telhado de fibrocimento com forro de PVC (LabEEE 2010)	p. 59
31	Telhado de fibrocimento com forro de madeira (LabEEE 2010)	p. 59
32	Telhado de fibrocimento com forro de gesso (LabEEE 2010)	p. 59
33	Telhado cerâmico com laje pré-moldada $12,0\text{cm}$ feito de concreto, EPS e argamassa (LabEEE 2010)	p. 59

34	Telhado de fibrocimento com laje pré-moldada 12,0cm feito de concreto, EPS e argamassa (LabEEE 2010)	p. 60
35	Telha metálica com laje pré-moldada 12,0cm feito de concreto, EPS e argamassa (LabEEE 2010)	p. 60
36	Telha metálica com laje pré-moldada 12,0cm feito de concreto, lajota e argamassa (LabEEE 2010)	p. 60

Lista de Tabelas

1	Área necessária por animal para o modelo freestall.	p.35
2	Vantagens e desvantagens do sistema freestall e de pastejo.	p.36
3	Médias das temperaturas dos meses de Dezembro de 2013 e Janeiro de 2014.	p.43
4	Materiais utilizados e seus respectivos coeficientes de condução do calor.	p.44
5	Taxa de transferência de calor para paredes com o isolante lã de rocha.	p.47
6	Relação área/volume para aumentar a temperatura em $1^{\circ}C$ em 8,0 horas para a lã de rocha.	p.48
7	Taxa de transferência de calor para paredes com o isolante EPS.	p.48
8	Relação área/volume para aumentar a temperatura em $1^{\circ}C$ em 8,0 horas para o EPS.	p.49
9	Taxa de transferência de calor para paredes de concreto celular.	p.50
10	Relação área/volume para aumentar a temperatura em $1^{\circ}C$ em 8,0 horas para o concreto celular.	p.51
11	Taxa e relação área/ volume para $24^{\circ}C$	p.51
12	Taxa e relação área/ volume para $22^{\circ}C$	p.52
13	Taxa e relação área/ volume para $20^{\circ}C$	p.52
14	Taxa e relação área/ volume para $18^{\circ}C$	p.52
15	Taxa e relação área/ volume para $16^{\circ}C$	p.52
16	Taxa de transferência de calor em relação a temperatura para o telhado.	p.52

Introdução

Manipular a temperatura dentro de certo ambiente não está muito longe de nossa realidade. O exemplo mais prático seria os condicionadores de ar na sala de aula ou mesmo no trabalho. De acordo com as leis descritas pelo físico Joseph Fourier¹ o fluxo de calor é mais eficiente quanto melhor for à condução do material submetido a uma determinada diferença de temperatura. Materiais metálicos são bons condutores e materiais isolantes são péssimos condutores como, por exemplo, isopor, lã, amianto, etc. Fourier descreveu essa descoberta matematicamente sendo hoje utilizada em diversas áreas do conhecimento. Por que não no acondicionamento de animais para maior produtividade leiteira?

Como não dizer que o leite é indispensável em todos os momentos de nossas vidas? Nada mais justo que a produção desse alimento atenda satisfatoriamente a demanda do comércio mundial. Dados do Canal do Produtor, mostram o Brasil com uma produção de 31 bilhões de litros de leite no ano de 2011, ficando atrás dos Estados Unidos, Índia, China e Rússia que atualmente se enquadram, respectivamente, nas primeiras colocações do ranking mundial. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mostram que a população brasileira em 2013 foi estimada em 197 milhões de brasileiros. Considerando o volume de leite produzido, a disponibilidade per capita é de 178 litros/habitante/ano. Esse volume ainda é baixo, quando comparado aos nossos vizinhos: Argentina com 207 litros/ano e Uruguai com mais de 300 litros por ano. O que é considerado pouco, comparado com a extensão territorial brasileira e a de países vizinhos. Para maximizar a produção serão necessários grandes investimentos no sistema de produção, desde ao tipo de criação até o processamento do mesmo.

Sendo a temperatura um dos fatores determinantes para a produção de leite é de se esperar que se dê uma atenção especial a estrutura do local onde o gado fica no período de lactação. Em regiões muito frias as temperaturas podem chegar a -14°C como foi registrado em Caçador, cidade do Meio Oeste de Santa Catarina pelo portal do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CI-

¹Jean Baptiste Joseph Fourier, nasceu em 21 de março de 1768, e morreu em 16 de maio de 1830. Foi um matemático francês conhecido principalmente pela sua contribuição à análise matemática do fluxo de calor.

RAM), em 18 de julho de 2011. O que, segundo registro do mesmo, não é algo raro nos meses de inverno, no Meio Oeste do estado, ter temperaturas abaixo de zero. Em climas muito quentes o problema é ainda maior. Em algumas regiões do Nordeste brasileiro as temperaturas podem chegar a incríveis $44,7^{\circ}\text{C}$ como foi registrado em Bom Jesus no Piauí pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em 2005. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em geral, as temperaturas nas Regiões Norte e Nordeste são as mais homogêneas, as mínimas variando entorno de 22°C e a máxima variando entre 30°C e 32°C .

Imagine uma caixa de um material qualquer fechada. Dentro desta caixa adicione gelo e a coloque na temperatura ambiente de Mossoró e região. Depois de algum tempo o gelo passará do estado sólido para o líquido isso significa que ele ganhou calor. Se a caixa for de metal o gelo se tornará líquido mais rapidamente do que se ela fosse de isopor. Isso por que o isopor é um mal condutor de calor, um isolante, e o metal um bom condutor. Imagine agora que o gelo é o gado holandês e a caixa seja as paredes onde estão abrigado estes animais. Fazer com que essa parede dificulte o máximo possível a transferência de calor do meio externo para o interno, significa melhor aproveitamento de um sistema refrigerativo para acondicionar estes animais em uma zona de conforto térmico para maior produtividade.

O presente estudo tem como finalidade modelar uma estrutura para acondicionar vacas da raça holandesa na fase de lactação em sua zona de conforto térmico. No primeiro capítulo é estudado a transferência de calor de um meio para outro. Nele será modelada essa transferência de acordo com as equações de Fourier associando a elas a funcionalidade dos isolantes térmicos e a condição de conforto térmico animal. Já o segundo capítulo trata de modelar as paredes de acordo com a resistência imposta pelos isolantes térmicos e a escolha dos tipos de paredes a serem testadas com as equações. Por último, o capítulo três aborda as discussões das temperaturas internas que é o real interesse deste estudo. Nesse âmbito será lançada a temperatura no problema e com as equações de Fourier se chega à quantidade de calor transferida. Com isso poderemos apontar um material para a construção de paredes e telhado em função da temperatura exterior gastando o mínimo de energia em potência para o sistema de refrigeração optado pelo produtor.

1 Revisão Bibliográfica

1.1 Transferência de calor

É sabido que quando compramos a garrafinha de água mineral para saciarmos a sede ela esquentará com o tempo e a mesma já não é tão boa. Todavia se colocarmos novamente na geladeira ela esfriará. Isso ocorre por causa da transferência de energia na forma de calor do meio para a garrafinha tornando-a mais quente, ou seja, tem maior grau de agitação entre as moléculas e vice-versa. Essa transferência se dá sempre do meio de maior temperatura para o de menor.

A energia que faz a garrafinha de água mineral esquentar é comumente chamada de calor, cuja definição dado por Çengel (2009) é a forma de energia que pode ser transferida de um sistema para outro como consequência da diferença de temperatura entre eles.

A taxa de transferência destes sistemas é chamada de transferência de calor. Uma regra básica para ocorrer a transferência de calor é a necessidade que se tenha uma diferença de temperatura entre os dois meios. A direção da taxa de transferência de calor depende diretamente do gradiente de temperatura. “Quanto maior o gradiente de temperatura maior a taxa de transferência de calor” (ÇENGEL, 2009).

Existem três mecanismos conhecidos para transferência de calor: radiação, condução e convecção.

1.1.1 Condução

Condução é o processo pelo qual o calor se propaga pela agitação das moléculas . Em outras palavras as moléculas mais agitadas, ou seja, mais energética, agitam as moléculas em sua vizinhança que estão menos energéticas e assim se propaga por todo o material. Neste contexto o gradiente de temperatura deve ocorrer na direção da maior temperatura para o de menor temperatura.

1.1.2 Convecção

Quando certa massa de fluido é aquecida as suas moléculas tendem a ficarem mais rápidas e mais separadas. Por consequência ela fica menos densa e isso faz com que ela tenda a subir tomando o lugar do fluido com temperatura inferior. Esse processo se repete inúmeras vezes enquanto é mantido o aquecimento.

1.1.3 Radiação

De acordo com Incropera (2008) a radiação térmica é a energia emitida por uma matéria que se encontra em uma temperatura não nula. O exemplo mais comum seria a radiação solar. Essa energia é transportada por ondas eletromagnéticas. Diferentemente da condução e convecção a radiação não necessita de um meio material para ser propagado.

1.2 Lei de Fourier para a condutividade térmica e fluxo de calor

A lei de Fourier é fundamental para compreender a transferência de calor por condução. “Ela não é uma fórmula que pode ser deduzida através de outras igualdades. Ela é generalização baseada em evidências experimentais” (INCROPERA, 2008). Essa lei é uma grandeza vetorial do fluxo térmico no sentido da diferença de temperatura. Sua representação está mostrada na Figura 1.

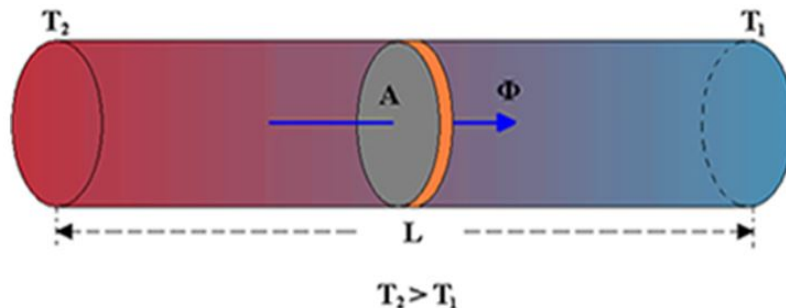


Figura 1: Fluxo térmico em sentido da diferença de temperatura (Nota positiva, 2014)

Onde,

- ϕ = Fluxo de calor através da área em (W/m^2);

- A = Área da superfície exposta a diferença de temperatura em (m^2);
- L = Comprimento do elemento em (m);
- T_1 = Temperatura inferior em (Kelvin¹ ou °C);
- T_2 = Temperatura Superior em (Kelvin ou °C).

Observe que o fluxo se direciona da maior temperatura para a menor. Com isso a lei de Fourier apresenta-se da seguinte forma:

$$\phi = \frac{Q_x}{A}, \quad (1.1)$$

onde Q_x é a taxa de transferência de calor através da área A . Essa é a equação fundamental para a condução de calor através de uma área descrita por Fourier.

1.2.1 Condutividade térmica

Como podemos perceber na Figura 1, existe uma extremidade que está sempre mais quente que a outra. Na prática observamos que determinados materiais demoram mais a esquentar, ou até mesmo não conseguimos perceber o aumento de temperatura da outra extremidade. Isso ocorre porque cada material tem uma relação com a condução do calor e é denominada de condutividade térmica para a condução e seu valor varia de material para material. Logo, se pode escrever a lei de Fourier para o fluxo térmico de acordo com a Equação (1.2).

$$\phi = -k \overrightarrow{\nabla T}, \quad (1.2)$$

onde:

- k é a condutividade térmica em ($W/m.K$);
- $\overrightarrow{\nabla T}$ é o gradiente de temperatura.

¹O *kelvin* (símbolo: K) é o nome da unidade de base do Sistema Internacional de Unidades (SI) para a grandeza temperatura termodinâmica. O kelvin é a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água. É uma das sete unidades de base do SI, muito utilizada na Física e Química. É utilizado para medir a temperatura absoluta de um objeto, com zero absoluto sendo 0 K.

Observe que o gradiente de temperatura é a orientação do fluxo e o sinal negativo está relacionado com a diferença de temperatura decrescente. A constante k é a capacidade de o material transferir menos ou mais calor em uma determinada variação de temperatura e isso muda de material para material. Logo, materiais isolantes como cerâmicas tem este valor muito mais baixo que materiais ditos bons condutores de calor como é o caso da maioria dos metais.

1.2.2 Transferência de calor por Convecção

Existem dois tipos de convecção, a forçada e a normal (Çengel 2009). A convecção forçada é aquela onde o fluido é forçado a fluir através da superfície sólida por meios externos. Um exemplo bem comum seria a ventilação de uma determinada área. A convecção natural ou livre é aquela em que o fluido se movimenta de acordo com as diferenças de densidades. Quanto mais frio mais denso. Esse processo cria as correntes convectivas naturalmente. Veja na Figura 2.

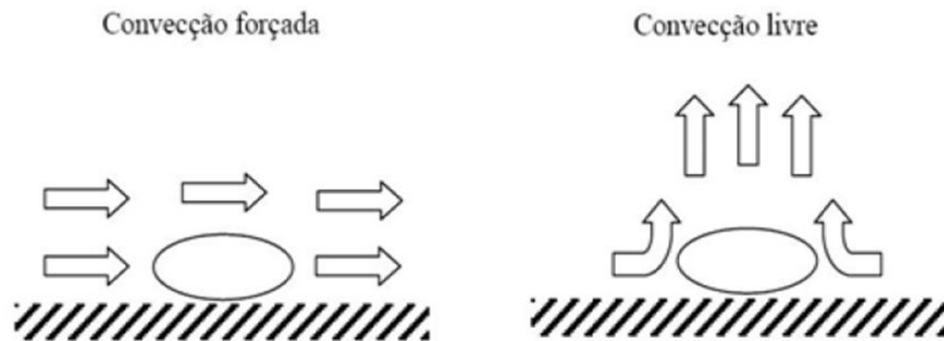


Figura 2: Convecção forçada a esquerda e normal ou livre a direita(Barros, 2009)

Se expressa a taxa de transferência de calor por convecção pela lei de Newton do resfriamento e pode ser escrita da seguinte maneira:

$$Q_x = hA(T_S - T_\infty), \quad (1.3)$$

onde:

- T_S = A temperatura da superfície;
- T_∞ = Temperatura suficientemente longe da parede onde o fluido está em contato;

- h = Coeficiente de transmissão de calor por convecção.

“O coeficiente de transmissão de calor por convecção h , resulta da expressão que relaciona, experimentalmente, o número de Nusselt com o número de Reynolds, e com o número de Prandtl na convecção forçada, e o número de Grashof na convecção natural” (BARROS, 2009).

Pode-se observar que o coeficiente de transferência de calor por convecção h depende de algumas características que segundo Barros (2009) são “a geometria do material, propriedades do fluido, tipo de escoamento e da variação de temperatura”.

1.3 Parede plana

No nosso estudo analisaremos a condução de calor através de paredes planas. Para este caso vamos considerar uma parede plana homogênea de material isotrópico, ou seja, sua condutividade térmica não muda em nenhum dos pontos em sua geometria. Consideraremos também o sentido da condução de calor unidimensional, pois segundo Çengel (2009) a condução de calor nessa e em inúmeras outras geometrias é predominante em uma direção, sendo desprezível nas outras. Assim vamos analisar a transferência apenas na direção x . Veja a Figura 3 e observe como varia a temperatura ao longo da parede.

1.3.1 Taxa de transferência de calor em uma parede plana

Tendo em vista as Equações (1.1) e (1.2) e as igualando ficamos com:

$$-k\vec{\nabla}T = \frac{Q_x}{A}.$$

Como a condução é unidimensional, $\vec{\nabla}T$ se resume a apenas uma direção

$$\vec{\nabla}T = \frac{\partial T}{\partial x},$$

logo:

$$Q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x}. \quad (1.4)$$

A parede escrita até aqui não gera nenhum tipo de calor sendo assim, ela apenas

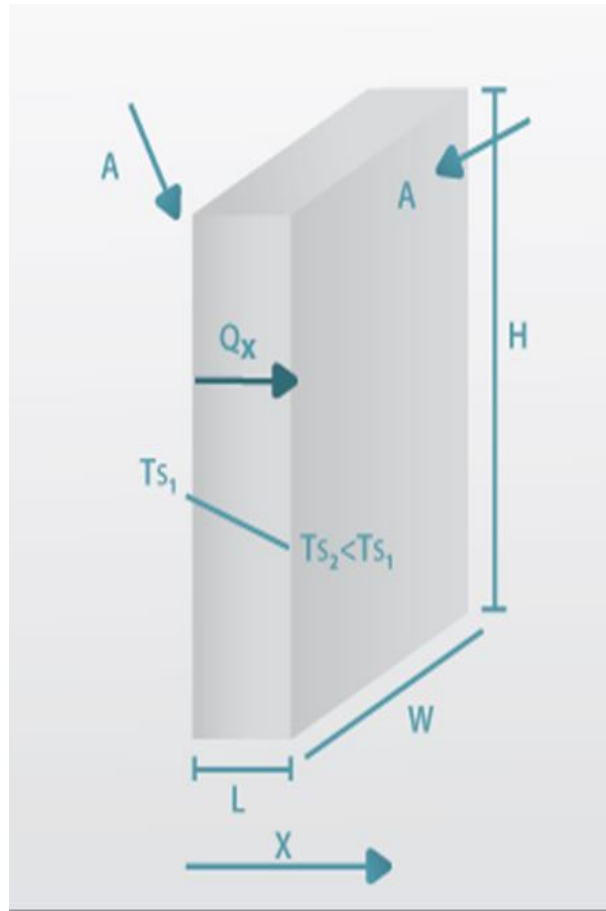


Figura 3: Queda da temperatura ao longo do eixo x (Labvirtual)

difícil o fluxo. Logo pela lei da conservação de energia temos:

$$Q_{entra} - Q_{sai} = \frac{E}{\Delta t},$$

onde:

- Q_{entra} = Taxa de calor de entrada no sistema;
- Q_{sai} = Taxa de calor que sai para o ambiente interno depois de ter sofrido a ação da parede;
- $\frac{E}{\Delta t}$ = Taxa de alteração de energia do sistema.

Considere uma parede plana, fina, homogênea e isotrópica de acordo com figura 4.

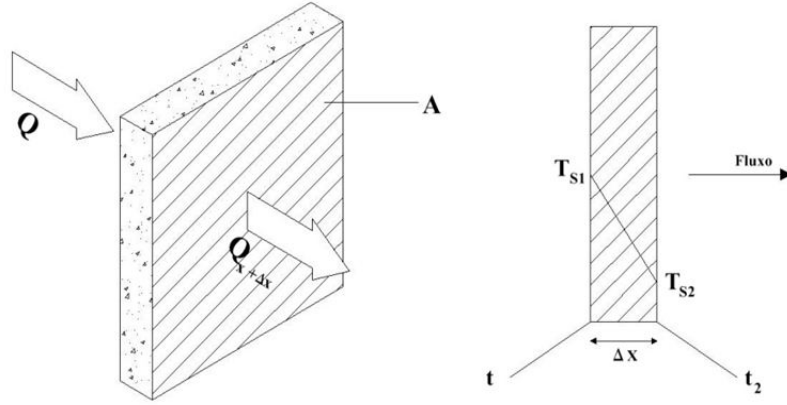


Figura 4: representativo de uma parede plana (Çengel 2009)

Temos:

$$\frac{E}{\Delta T} = \frac{mc(T_{1+\Delta t} - T_1)}{\Delta t}, \quad (1.5)$$

onde:

- m é a massa do elemento representativo;
- c é o Calor específico do material representado.

Como: $\rho = \frac{m}{\text{volume}}$ e para este caso $\text{Volume} = \Delta x A$ então $m = \rho \Delta x A$.

Rearranjando os termos ficaremos com:

$$c\rho\Delta x A \frac{T_{1+\Delta x} - T_1}{\Delta t}.$$

Dividindo ambos os lados da Equação (1.5) por $\delta x A$ teremos:

$$\rho c \frac{T_{1+\Delta t} - T_1}{\Delta t} = -\frac{1}{A} \frac{Q_{x+\Delta x} - Q_x}{\Delta x}.$$

Fazendo o limite tender o zero nos dois lados da equação,

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \rho c \frac{T_{1+\Delta t} - T_1}{\Delta t} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} -\frac{1}{A} \frac{Q_{x+\Delta x} - Q_x}{\Delta x},$$

a resumimos da seguinte maneira:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{A} \frac{dQ_x}{dx}.$$

Substituindo Q_x pela Equação (1.4) tem-se:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{A} \frac{d}{dx} \left(-kA \frac{dT}{dx} \right),$$

isso implica em:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = k \frac{d^2T}{dx^2},$$

então:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{k}{\rho c} \frac{d^2T}{dx^2}. \quad (1.6)$$

O valor de $\frac{k}{\rho c}$ é a difusividade térmica e é representado por α com unidade em m^2/s .

A difusividade térmica indica como o calor se difunde através do material. Ela é uma das variáveis mais importantes para o controle térmico das construções. Mais ainda do que a condutividade k , porque expressa quão rapidamente um corpo se ajusta por inteiro à temperatura de seu entorno (INCROPERA 2008). Materiais de baixa difusividade retardam a transferência de variações externas de temperatura para o interior das construções.

Vejamos agora o valor de ρc .

$$\rho c = \frac{g}{m^3} \frac{cal}{g \cdot ^\circ C},$$

Logo:

$$\rho c = \frac{cal}{^\circ C \cdot m^3}. \quad (1.7)$$

Isso significa a quantidade de energia térmica necessária para aumentar a temperatura de determinado volume do material.

Das equações descritas anteriormente e das condições impostas a parede podemos formar uma equação diferencial de segunda ordem:

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2},$$

logo:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{dT}{dt} = \frac{d^2T}{dx^2}. \quad (1.8)$$

1.4 Resistência térmica

Todo material apresenta certa dificuldade a condução de calor. Isso faz com que a temperatura interior seja menor que a exterior. Essa dificuldade é comumente chamada de resistência térmica. É algo muito similar com o que acontece com a resistência a passagem de corrente. Neste caso a diferença de temperatura é a força eletromotriz da condução térmica e o coeficiente k , já explicado anteriormente, diz o quanto é fraca essa resistência. O modo de representar a resistência térmica é esquematizado na Figura 5.

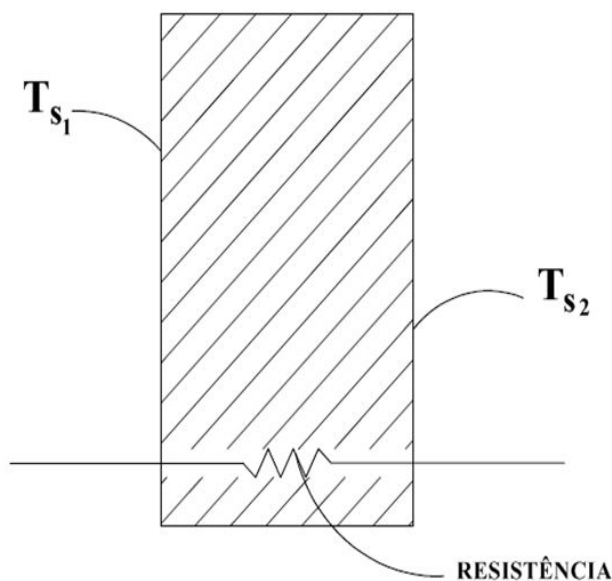


Figura 5: Esquematização da resistência térmica(Çengel 2009)

A parede é de regime permanente, ou seja, a temperatura não muda em nenhum dos pontos do material. Sendo assim a temperatura é homogênea do lado de fora onde é maior que a temperatura do lado de dentro que por sua vez também é homogênea. Em regime estacionário podemos escrever uma equação a partir deste princípio:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0. \quad (1.9)$$

Observe que escrevemos uma equação diferencial linear de segunda ordem. A solução geral da equação pode ser resolvida com duas integrações sucessivas. Integrando a Equação (1.10) temos:

$$\frac{dT}{dx} = C_1$$

Integrando novamente:

$$T(x) = C_1x + C_2. \quad (1.10)$$

Veja que essa é a solução geral da equação diferencial com duas constantes desconhecidas sendo necessárias duas equações para resolvê-las. A partir das condições de contorno podemos deduzi-las.

Observe que a Equação (1.11) representa uma reta de coeficiente angular C_1 . Fazendo $x = 0$ na temperatura inicial da superfície T_{S1} obtém-se:

$$T(0) = 0 + C_2 \Rightarrow C_2 = T_{S1},$$

Fazendo agora $x = L$, implica:

$$T(L) = LC_1 + C_2 \Rightarrow C_1 = \frac{(T_{S2} - T_{S1})}{L},$$

logo:

$$T(x) = \frac{(T_{S2} - T_{S1})}{L}x + T_{S1}. \quad (1.11)$$

Fazendo $x = 0$ e $x = L$, vamos obter justamente as condições específicas de fronteira. A partir disso fica claro e evidente que a temperatura varia linearmente com a direção x . Derivando a Equação (1.11) em relação a x e substituindo na Equação (1.4) temos:

$$-kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{(T_{S2} - T_{S1})}{L}.$$

Como A é a área da parede e é constante independente do fluxo, então:

$$\phi = -k \frac{(T_{S2} - T_{S1})}{L} = \frac{Q_x}{A},$$

logo:

$$Q_x = -kA \frac{(T_{S2} - T_{S1})}{L}. \quad (1.12)$$

Com base nessa equação podemos dizer que a taxa de transferência de calor é diretamente proporcional a condutividade térmica, a área da parede e a diferença de temperatura, mas inversamente proporcional a sua espessura.

“Da mesma forma que uma resistência elétrica está associada com a condução de eletricidade, uma resistência térmica pode ser associada com a condução de calor”(INCROPERA, 2008). Assim como a condução elétrica é a razão entre a diferença de potencial pela resistência elétrica, define-se:

$$Q_x = \frac{(T_{S2} - T_{S1})}{R}, \quad (1.13)$$

sendo:

$$R = \frac{L}{kA}, \quad (1.14)$$

onde R é a resistência a condução térmica. Note que a diferença de temperatura é análoga a diferença de potencial em circuitos elétricos. Assim como a diferença de potencial (ddp) age no sentido de dar corrente ao circuito a diferença de temperatura age dando calor a parede.

Para a convecção fazemos a mesma analogia anteriormente citada em relação a resistência a transferência de calor.

$$R = \frac{1}{hA}. \quad (1.15)$$

Observe que neste sentido podemos relacionar o coeficiente de transmissão de calor por convecção e a temperatura com a taxa de transferência de calor da seguinte maneira:

$$Q_x = (T_{S2} - T_{S1})hA. \quad (1.16)$$

1.5 Parede composta

Uma parede é normalmente formada por dois ou mais materiais. Na construção civil, por exemplo, as paredes em geral, são sempre acompanhadas de um revestimento. No caso, o reboco, a cerâmica, e por alguma eventualidade um isolante térmico ou acústico. Para esse tipo de problema as paredes se comportam como uma rede de resistências térmicas muito semelhantes aos circuitos elétricos. Veja a Figura 6.

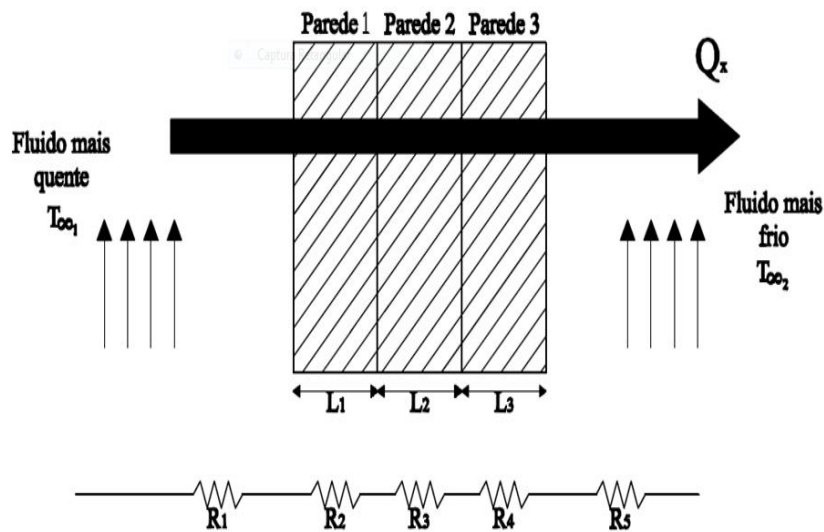


Figura 6: Circuito em série (Çengel 2009)

Assim como em circuitos elétricos a taxa de transferência de calor pode ser relacionada como a razão entre a diferença total de temperatura e a resistência equivalente do conjunto de paredes.

$$Q_x = \frac{(T_{\infty} - T_{S1})}{R} + \frac{(T_{S1} - T_{S2})}{R} + \dots + \frac{(T_{S5} - T_{\infty2})}{R}$$

Então:

$$Q_x = \frac{T_{\infty1} - T_{\infty2}}{R_1 + R_2 + \dots + R_5}, \quad (1.17)$$

onde:

- $T_{\infty1}$ é a temperatura presente do ar exteriormente;
- $T_{\infty2}$ é a temperatura presente no ar interiormente.

Observe na Figura 6 que R_1 e R_5 são resistências convectivas e também participam da transferência de calor. No caso da radiação, é importante salientar que a mesma participa muito pouco ou quase nada da transferência, já que o vento faz na parede exterior uma convecção forçada.

Da mesma forma que organizamos circuitos em série e paralelo, podemos fazer o mesmo para uma série de paredes. No caso da Figura 6 temos um circuito em série onde a resistência total é a soma de todas as resistências. Toda vez que mudamos de material mudamos de resistência. Se este material diferente estiver no sentido do eixo x , onde há a transferência de calor unidimensional temos resistência em série. Caso a mudança de material seja no sentido perpendicular a transferência de calor temos resistências associadas em paralelo. Observe que é muito semelhante a circuitos elétricos.

Partindo deste princípio podemos organizar diversos circuitos em série, paralelos e mistos, trabalhando com sua resistência total de modo a obter a taxa de transferência de calor pela Equação (1.13). Veja a Figura (7.a) e observe como se forma uma rede de resistência em paredes compostas considerando elas em série e paralelo.

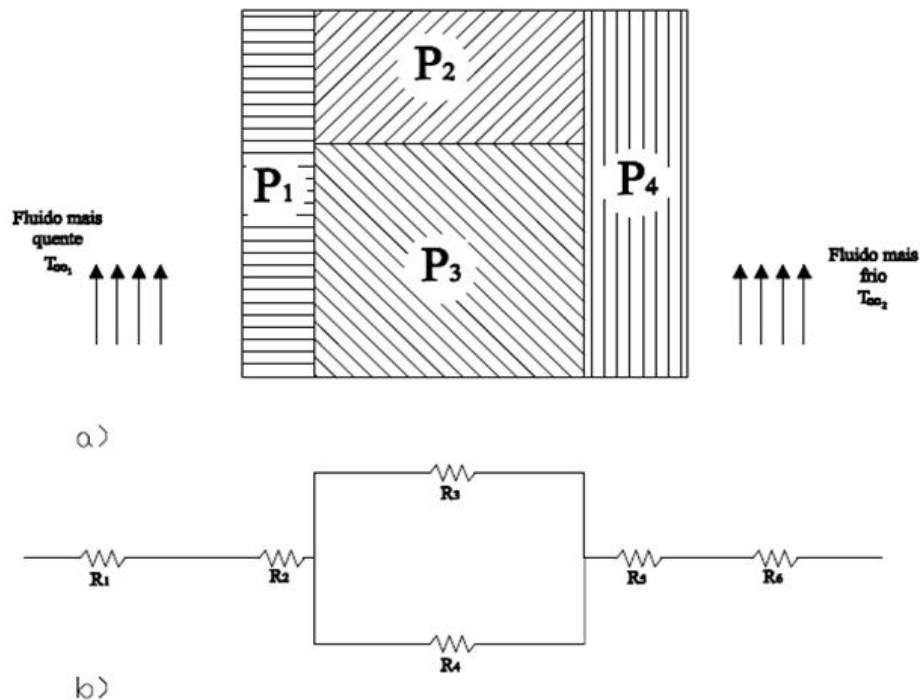


Figura 7: Associação de resistências térmicas (Çengel 2009)

Neste caso a convecção funciona em série com a primeira parede e a ultima parede. Assim sendo:

$$R_1 = \frac{1}{h_1 A}; R_2 = \frac{L}{k_1 A}; R_3 = \frac{L}{k_2 A}; R_4 = \frac{L}{k_3 A}; R_5 = \frac{L}{k_4 A}; R_6 = \frac{1}{h_2 A}.$$

Sendo que R_1 , está em série com R_2 , R_5 com R_6 e R_3 está em paralelo com R_4 . Veja o esquema na Figura (7.b).

Quando se trabalha com transmissão mista de condução e convecção é muito utilizado o coeficiente global de transferência de calor. Se o coeficiente é conhecido, o calor trocado por unidade de tempo é obtido pelo simples produto desse coeficiente pela área da superfície e pela diferença de temperatura entre as faces. Normalmente quando utilizamos cálculos de transmissão de calor através de superfícies sólidas (paredes, janelas e telhados) para determinarmos a carga térmica de condicionamento de ar precisamos determinar o valor do coeficiente global de transmissão de calor dessas superfícies, o que muitas vezes requer um tempo adicional para pesquisa de materiais e cálculo desses coeficientes.

Como já vimos todo o material que compõe uma determinada superfície possui uma resistência a passagem de calor. O inverso da resistência térmica é o termo denominado de “Coeficiente Global de Transmissão de Calor”, cujo símbolo é U e é dado em $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

$$U = \frac{1}{R_t}$$

Define-se então um termo o qual aplicado a uma equação simplificada nos fornecerá a quantidade de calor transferida por unidade de tempo.

$$Q_x = U \Delta T A \quad (1.18)$$

1.5.1 Isolantes térmicos

Os isolantes térmicos são materiais que em geral possui baixa condutividade térmica. Eles dificultam a passagem de calor de modo que boa parte do mesmo não ultrapasse a parede. Alguns trabalhos sugerem que não há uma concordância quanto a definição de isolamentos térmicos.

Os materiais isolantes são caracterizados por apresentarem densidades inferiores a $150 Kg/m^3$ e uma condutibilidade térmica abaixo de $0,05 W/m^2 \cdot ^\circ C$ (LABRINCHA apud

MENDES, 2012). Já o Laboratório Nacional de Engenharia Civil considera como isolantes térmicos os materiais e produtos que apresentam uma condutibilidade térmica inferior a $0,065W/m^2.^{\circ}C$ e uma resistência térmica superior a $0,030^{\circ}C/W$ (LINECE apud MENDES, 2012).

Não se pode escolher o material apenas pela baixa condutividade térmica. Lembremos aqui que a resistência a passagem de calor é também em função de sua espessura. A Equação (1.14) nos mostra que a espessura da parede é diretamente proporcional a resistência e o objetivo de isolamentos térmicos é justamente aumentar a sua resistência. Tendo um material com baixa condutividade térmica, mas com uma espessura muito baixa pode não ser exatamente a melhor escolha. Outro fator muito importante é a economia. Um material muito bom em resistir a transferência de calor pode ser bem mais caro que o outro. Dependendo da aplicação, às vezes se torna mais vantajoso escolher o menos eficiente.

Mendonça (2005) dá exemplos de paredes simples e duplas com isolamentos internos e externos. Nelas os isolamentos são basicamente de: lã de roxa, poliestireno extrudido e expandido. Além deles, um material muito utilizado em construções é o concreto celular pela sua velocidade de construção e redução de material em relação as alvenarias utilizadas. Segundo o Engenheiro Civil Carlos Tito consultor do Site especializado em vendas de materiais de coonstruções (PRECON - Material de construção), para $1,0m^3$ de alvenaria, o concreto celular utiliza $1/2$ a $1/3$ do material que seria necessário com os produtos tradicionais.

1.5.2 Gado leiteiro

A condição de produção de qualquer ser vivo tem em algum sentido as condições ambientais como fator decisivo. Para Pires & Campos (2003) nos bovinos na fase de lactação, crescimento, reprodução, conversão alimentar e mortalidade têm sido tradicionalmente usado como medidas das respostas funcionais dos animais aos fatores ambientais. Sendo assim podemos perceber que a produtividade está relacionada ao bem-estar animal que para a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA) bem-estar é o estado do indivíduo em que há harmonia física e mental entre o organismo e o seu ambiente. Isso significa que essa é uma característica individual, definida como um “estado” em um determinado momento de sua vida e, por isso, pode variar entre muito bom e muito ruim.

Além de várias dificuldades encontradas pelo produtor de leite uma delas é produzir nos trópicos onde as condições climáticas não são muito favoráveis para criação da raça

européia que segundo Araújo (2001) são os maiores produtores. As utilizações de instalações são realizadas para minimizar as perdas por causa dessas condições desfavoráveis. Mesmo assim, a EMBRAPA afirma que as instalações precárias são a principal causa de doenças infecciosas e problemas respiratórios que causam mortes em bezerros com menos de três meses de vida.

De acordo com Araújo (2001) os bovinos de leite tem a necessidade de manterem a temperatura interna de seu corpo dentro de uma faixa ideal para que possam sobreviver. A EMBRAPA afirma que o clima pode ter um impacto significativo sobre o conforto e bem-estar dos animais, com o frio representando um problema para o recém-nascido no período do parto, e o calor apresentando consequências adversas no desempenho produtivo e reprodutivo do animal adulto. Ainda segundo a EMBRAPA, ambientes quentes e úmidos, frequentemente encontrados em regiões tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil, podem tornar-se extremamente desconfortáveis para as vacas leiteiras, especialmente para aquelas em lactação e de alto potencial para produção de leite. O desempenho produtivo e reprodutivo desses animais diminui consideravelmente, principalmente durante o verão, quando a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar atingem valores elevados.

Os animais tem um limite em relação a temperatura para sua produção. Excedido este limite térmico superior, ou seja, a máxima temperatura de conforto térmico, e a inferior, ou seja, a mínima temperatura de conforto, os animais sofrem estresse térmico.

O desempenho animal permanece razoavelmente constante entre os limites da temperatura ambiente (inferior e superior). Dentro desses limites os animais são capazes de balancear prontamente a produção com a dissipação de calor. Quando esses limites são excedidos as alterações no desempenho são marcantes (PIRES; CAMPOS; 2003).

1.5.3 Raça Holandesa

Segundo Damasceno et al. (1998) a participação de vacas holandesas na produção de leite no Brasil é considerável. Esta raça por ser européia e está em um clima predominantemente tropical sofre bastante desgaste devido ao aumento de temperatura, principalmente nos meses de verão. De acordo com a EMBRAPA isso pode causar perdas significativas mesmo a alimentação e manejo sendo de ótima qualidade. Por isso tem-se a necessidade de colocar estes animais dentro de sua zona de conforto térmico.

Zona de conforto térmico ou termoneutra é definido como aquela limitada pela máxima e mínima temperatura ótima para a produção (NAAS apud ARAÚJO, 2001). Essa zona

é discutida entre vários autores e assumem diferentes faixas de temperatura. A faixa ideal de temperatura para o gado da raça Holandesa estaria entre -1 e 16°C (BAETA; SOUSA apud ARAÚJO, 2001). Já Huber apud Araújo (2001) diz ser essa faixa entre 4 e 26°C .

Autores citam como zona de conforto para bovinos de raças europeias -1 a 16°C ou 13 a 18°C e recomendam as temperaturas de 4 a 24°C para vacas na fase de lactação podendo restringir esta faixa aos limites de 7 a 21°C em função da umidade relativa do ar e da radiação solar (PIRES; CAMPOS, 2003).

Entretanto todos concordam que existe uma faixa ideal de conforto térmico que acima ou abaixo desse limite de tolerância as vacas holandesas têm uma demanda fisiológica a realizar trabalho no sentido de manter a temperatura do corpo estável (ARAÚJO, 2001). Nesse sentido a realização desse trabalho faz com que a produção de leite diminua. “Quando a temperatura ultrapassa as condições de conforto térmico a umidade do ar tem papel fundamental da regularização fisiológica destes animais” (PIRES; CAMPOS; 2003). A Figura 8 mostrará o esquema correspondente a um resumo de tudo que foi dito anteriormente sobre a zona de conforto térmico dos bovinos.

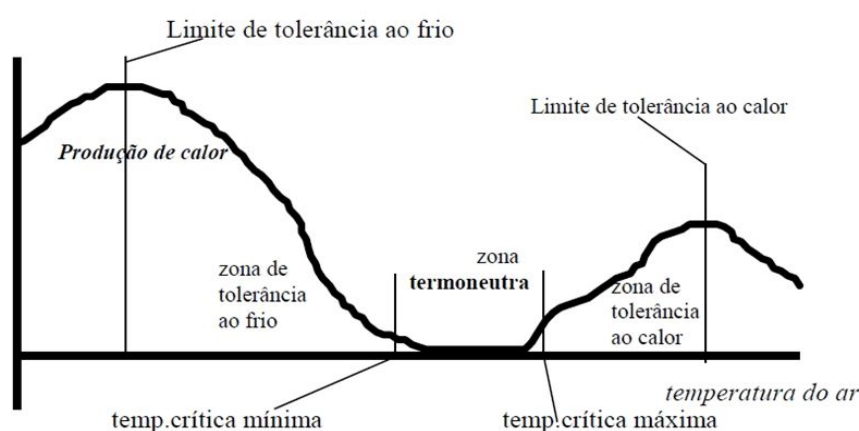


Figura 8: Zona de conforto térmico animal (Araújo (2001))

Assim, quando excede a temperatura crítica superior, ou seja, acima de $25-27^{\circ}\text{C}$ para o gado europeu, e 35°C para o indiano o gradiente de temperatura torna-se pequeno para que o resfriamento não evaporativo seja efetivo (PIRES; CAMPOS, 2003).

A previsão de prejuízos que o ambiente climático pode causar ao desempenho e ao bem estar dos bovinos de leite tanto nas raças temperadas quanto nos mestiços é essencial para se tomar decisões racionais relacionadas a seleção e o manejo dos animais em seus respectivo ambiente (PIRES; CAMPOS, 2003).

1.5.4 Instalações

Construções zootécnicas apropriadas, que garantam condições necessárias de conforto, contribuem com o aumento da produtividade e permitem ao animal abrigado condições para expressar o seu potencial genético (ARCARO apud MILANE & SOUZA 2000). Para produzir leite ou carne de melhor qualidade com maior eficiência, não basta apenas melhorar o nível genético dos plantéis ou a alimentação dos animais. É preciso também investir em instalações adequadamente projetadas e construídas com materiais duráveis, para evitar manutenções frequentes, e de fácil manuseio, que facilitem a limpeza e otimizem o aproveitamento da mão-de-obra, qualquer que seja o sistema de criação utilizado.

Existem basicamente três tipos de sistemas de criação sendo eles: extensivo, semi-intensivo e intensivo.

No sistema extensivo o gado fica no pasto e em sua maioria é mestiça. Segundo a Doutora Débora Andréia Evangelista Façanha, Professora de bovinocultura do curso de Agronomia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, o sistema de pastejo rotacionado é o mais utilizado na região tropical do Brasil.

De acordo com o Guia de construções Rurais a base de Cimento feito pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) mesmo sendo o sistema extensivo o mais usado no Brasil a produtividade é baixa, principalmente nos períodos de estiagem visto que se tem no ambiente altas temperaturas.

O regime semi-intensivo consiste em melhorar alimentação do gado, mas ele ainda continua no pasto. Neste regime se tem um gado de melhor padrão racial.

Segundo Myrrha (1996) o sistema intensivo de criação é o mais recomendado para gado de alto padrão racial. Consiste em criar os animais de elevada produção, acima de 20 litros por dia, permanentemente confinados no próprio estábulo de ordenha ou em galpões, dependendo da modalidade de estabulação a ser adotada, com manejo extremamente controlado.

1.5.4.1 Sistema intensivo

Myrrha (1996) afirma que o modelo mais utilizado atualmente para o sistema intensivo é o de baias livres ou freestall pois os mesmo requer menor área e menos mão-de-obra.

O alojamento para os animais consiste em uma área coberta para repouso de forma a garantir sombra as vacas. Também devem ter bebedouros e cochos. A Figura 9 mostra

como é construído este tipo de instalação.

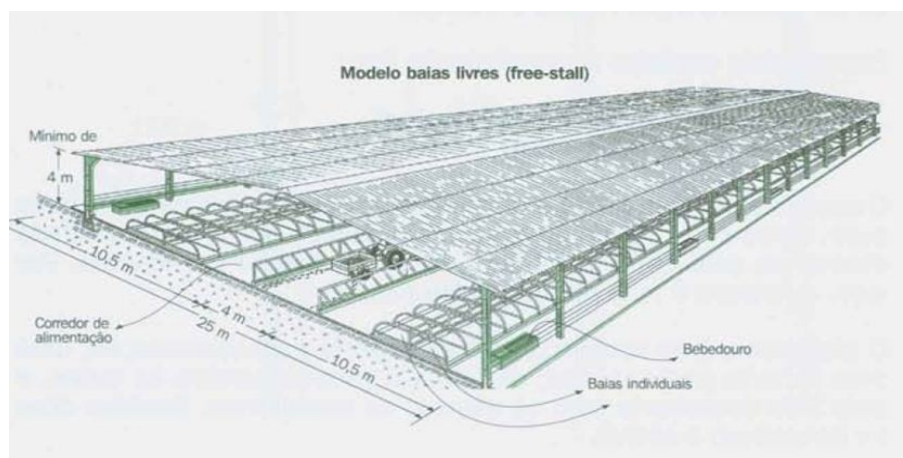


Figura 9: Instalação tipo freestall(ABCP 1996)

O dimensionamento do alojamento vai de acordo com a quantidade de animais sendo especificado o total de metros quadrados para cada um deles. Os dados referentes a cada tipo de animal e sua área estão dispostos na Tabela 01.

Tabela 1: Área necessária por animal para o modelo freestall.

Área Mínima Necessária Por Animal no Modelo Freestall					
Tipo de Animal	cocho	Baias		Baia de descanso	Coberta total
		Comprimento	Largura		
Bezeros	0,5	1,5	0,8	1,2	5,0
Novilhas	0,6	1,7	0,9	1,5	6,2
Vacas	0,7	2,3	1,2	2,8	11,5

Fonte: Guia de construções rurais (ABCP)

Segundo a professora Doutora Débora Andréia o sistema de confinamento não é preferível em regiões perto dos trópicos. Ainda de acordo com a mesma, em regiões de clima temperado ocorre uma amplitude térmica muito grande sendo verificadas temperaturas muito elevadas no verão o que exige uma estrutura de refrigeração para os animais que geralmente são de alta produção.

Apesar de ter várias vantagens em relação a outros sistemas convencionais em regiões não tropicais o sistema freestall apresenta algumas dificuldades. No entanto, o sistema de pastejo também apresenta desvantagens em relação a outros. A Tabela 02 mostra as vantagens e desvantagens dos sistemas mais utilizados no Brasil.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens do sistema freestall e de pastejo.

Vantagens	Desvantagens
Sistema Freestall	
Custo operacional econômico	Alto custo de construção
Fácil mecanização	Menor atenção individual
Animais se exercitam constantemente	Maior competição
Sistema de pastejo	
Custo operacional mais baixo	Necessidade de maior área disponível
Pouca necessidade de mecanização	Menor atenção individual
Animais se exercitam regularmente	Maior competição entre os animais

Fonte: Araújo (2001)

1.5.5 Clima da região de Mossoró

Mossoró está situada no interior do estado do Rio Grande do Norte, na região Nordeste do Brasil. Pertence à mesorregião do Oeste Potiguar e à microrregião homônima. A cidade fica entre as capitais Natal e Fortaleza (CE), distante 278 e 245 km, respectivamente. De acordo com o IBGE a área total do município é de 2.110,207 quilômetros quadrados, o que lhe dá o título de maior município do estado do Rio Grande do Norte, em termos de extensão territorial.

Na Região Nordeste é possível identificar três tipos de climas: tropical, semi-árido e equatorial úmido. O primeiro possui elevadas temperaturas e duas estações bem definidas, sendo uma seca e uma chuvosa, os índices pluviométricos anuais oscilam entre 1.800 a 2.000mm e temperaturas que variam entre 24°C e 26°C. O segundo possui temperaturas elevadas e chuvas irregulares, essa característica climática faz com que as áreas influenciadas sejam secas devido aos longos períodos de estiagem e no terceiro existe a predominância de uma grande umidade relativa do ar, além disso, demonstra elevadas temperaturas com chuvas regulares durante todo o ano (FREITAS, 2013)

Localizado na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró seu período chuvoso vai de Fevereiro a Abril. Em média, a temperatura é de 27,4°C, atingindo 36,0°C e 21,0°C de máxima e mínima, respectivamente. Dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mostram que a temperatura mínima registrada em Mossoró foi de 8,9°C, ocorrida no dia 21 de julho de 1981. Já a máxima foi de 39,4°C, observada dia 16 de dezembro de 1974.

A Figura10 fornecerá uma ideia da distribuição do clima pelo Rio Grande do Norte e suas proximidades.

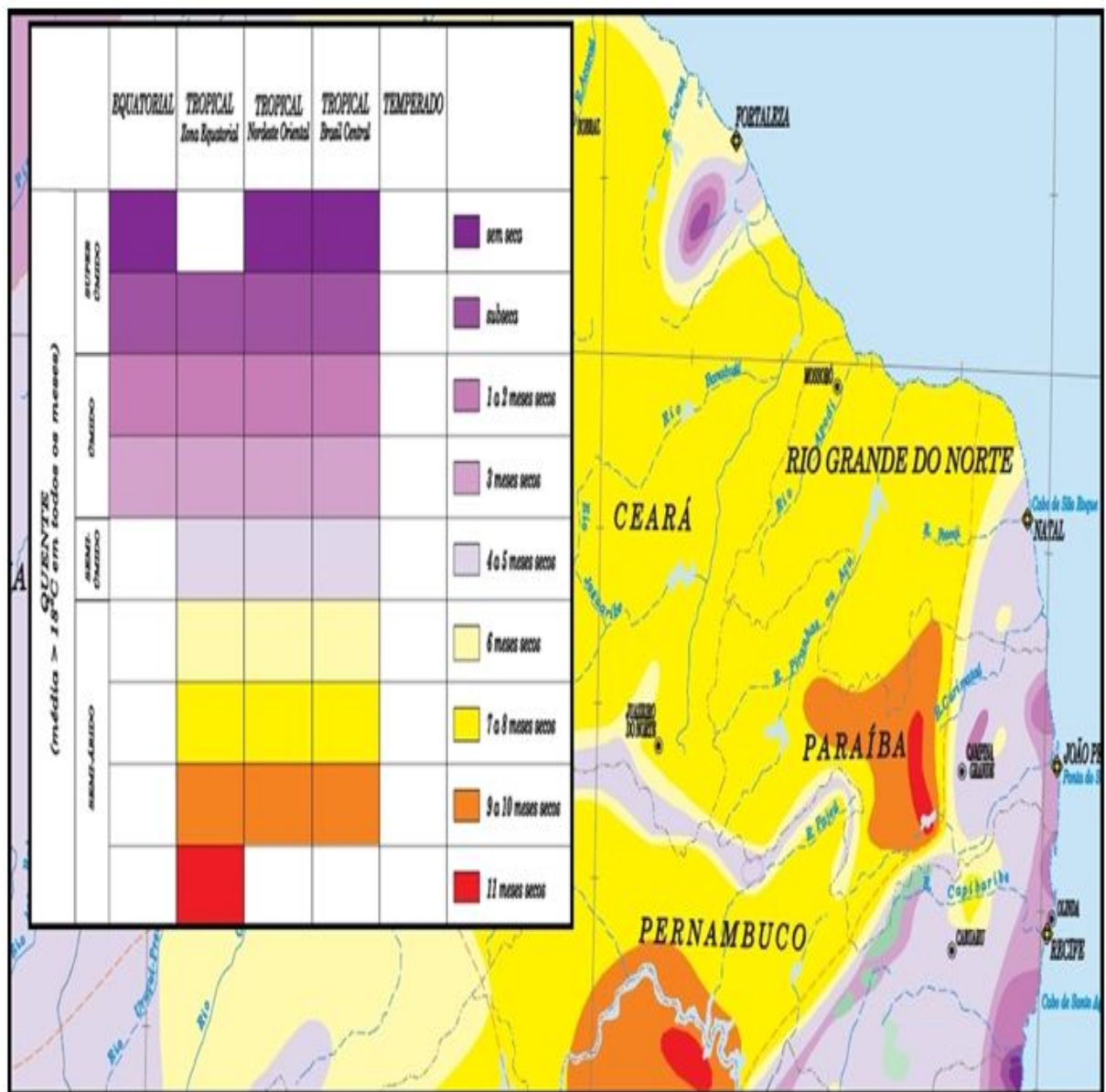


Figura 10: Distribuição das temperaturas no Rio Grande do Norte e região. (IBGE 2013)

2 Metodologia

O primeiro passo foi a definição de como seria a instalação e fazer um esboço da mesma, tomando como base o sistema intensivo de criação, visto que este é o que suporta animais de alta qualidade, no caso, animais da raça holandesa. Depois disso escolheram-se três tipos de paredes com três isolantes térmicos diferentes, sendo eles lã de rocha, poliestireno expandido (EPS) e Concreto celular. Para construir a instalação para os animais leiteiros faz-se necessário um isolamento entorno de todo o perímetro local. Esse isolamento é feito por paredes para dificultar a taxa de transferência de calor para dentro do ambiente interno, onde o gado deve ser acomodado. Como referência deve-se usar a instalação do sistema feestall (Figura 9) e adequar a ela paredes em seu perímetro para dificultar o máximo possível a entrada de calor. O dimensionamento segue o mesmo raciocínio do sistema citado, com pé direito de $4,0m$ e largura de $25,0m$. A estrutura pode ser vista na Figura 11, onde o aprisco se torna um sólido fechado por todas as laterais.

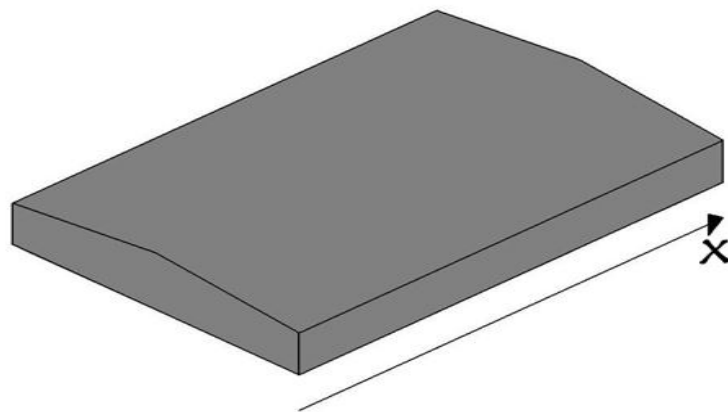


Figura 11: Modelo do sólido formado com o isolamento de paredes em todos os lados (Próprio)

Como o teto é também isolado, a parte interna tem a mesma área que a construída no piso, fazendo do sólido um paralelepípedo com volume muito fácil de calcular. O volume de ar dentro dele foi usado para calcular a quantidade de calor necessário para elevar a temperatura em $1^{\circ}C$. A área do sólido é usada para descobrir a taxa de transferência de

calor total que entra na instalação.

Assim, para cada metro linear de construção na direção x , (Figura 11) temos $133,0m^2$ de área onde há transferência de calor e $100m^3$ de volume interno.

2.1 Desenho das paredes e telhado

O Rio Grande do Norte está localizado na região do semi árido com clima seco e quente sendo sua vegetação predominantemente a caatinga. Segundo Oliveira & Ribas (1995) para este tipo de clima devem-se projetar paredes com as seguintes características:

- Orientação no sentido Leste-Oeste para as paredes com mínima dimensão;
- Paredes de grande espessura, materiais pesados e maciços. (tijolo, pedra, taipa, concreto etc.);

A Figura 12 a seguir sugere uma parede dupla com isolamento de lã de rocha entre uma parede e outra. Segundo Mendonça (2005) este tipo de parede com este isolante é comumente empregado. O EPS foi utilizado como isolante de paredes externas, baseando-se em Berlofa (2009) e esquematizado na Figura 13.

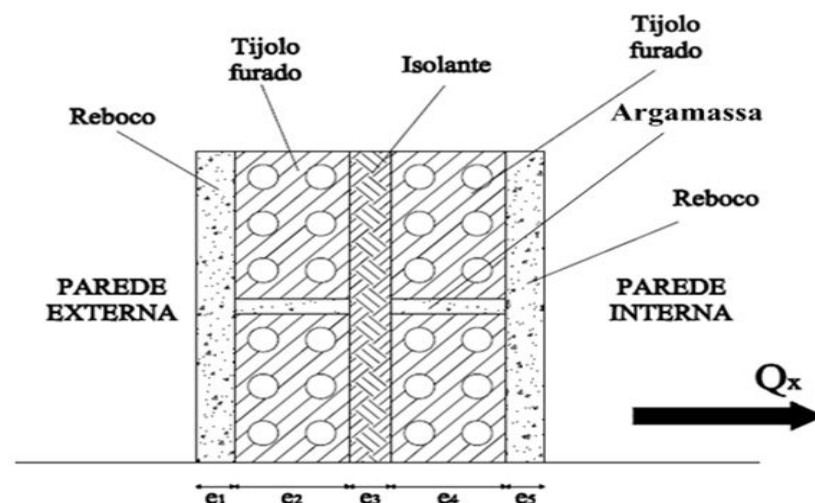


Figura 12: Paredes duplas com isolante entre as duas paredes (Mendonça 2005)

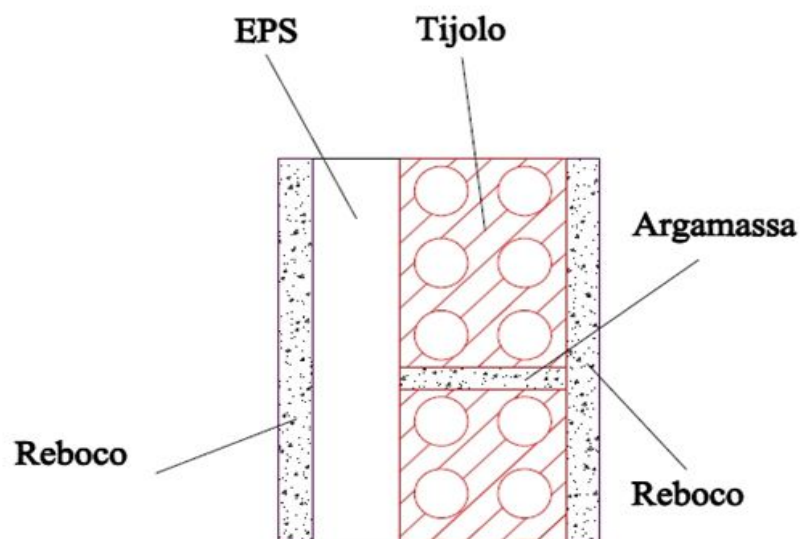


Figura 13: Parede simples com isolamento exterior de EPS (Adaptado de Berlofa 2009)

Observe que não faz sentido escolher duas paredes sendo uma de tijolos maciços e a outra de tijolos furados, uma vez que estamos preocupados exclusivamente com a resistência térmica. Obviamente a escolha pelo tijolo de alvenaria furado é por causa de sua menor condutividade térmica, ou menor coeficiente global de transmissão do calor, em relação ao tijolo comum como é visto na Figura 14.

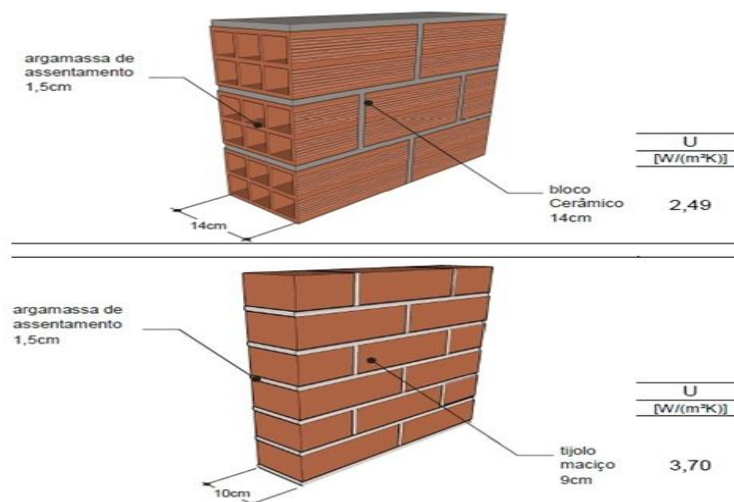


Figura 14: Parede de blocos cerâmica furado acima e tijolos maciços abaixo (LabEEE 2010)

Deste modo foi desenhado três tipos de paredes diferentes mudando apenas a espessura de cada isolante, sendo que a parede de concreto celular não necessita de tijolo cerâmico em sua construção já que ela é feita com o próprio concreto celular. A Figura 15. exemplifica o esquema da parede com concreto celular.

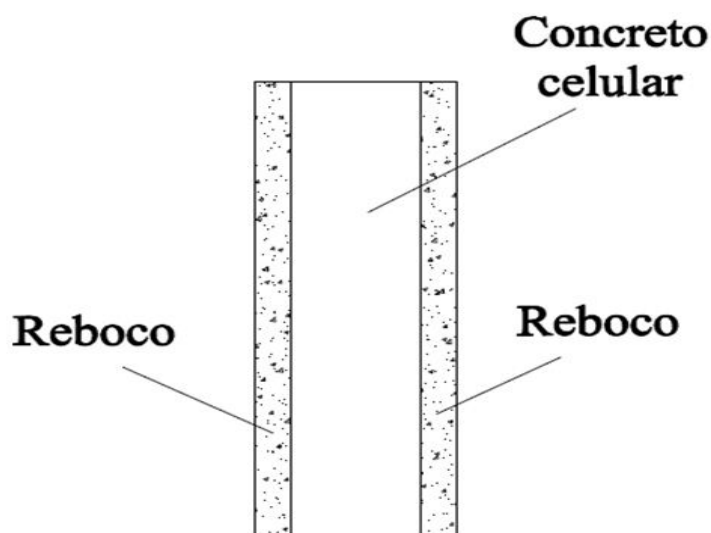


Figura 15: Concreto celular revestido nos dois lados com reboco (Adaptado de LabEEE 2010)

O telhado é onde recebe a maior parte da radiação solar e por isso deve também passar por uma avaliação visto que ele também coopera, e muito, para a taxa de transferência de calor. Sendo assim, a resistência que definirmos para a parede também será executada para o telhado para que se possa fornecer a mesma taxa de transferência de calor ou menos. Os telhados podem ser variados e seguem os esquemas do Anexo 1.

2.2 Temperatura ambiente externa e interna

Foram pesquisadas durante o mês de Dezembro de 2013 e o início de Janeiro de 2014 as médias da temperatura em Mossoró para relacionar com as temperaturas mencionadas. Tendo em vista que esses meses fazem parte da estação seca, é preferível utilizar os referidos dados, pois é considerado o período mais quente. As máximas e mínimas temperaturas pesquisadas nesse período estão dispostas nos gráficos das Figuras 16 e 17.

Usamos a média de temperatura ambiente como base para o cálculo da taxa de transferência de calor. A Tabela 03 na página seguinte fornecerá estes valores.

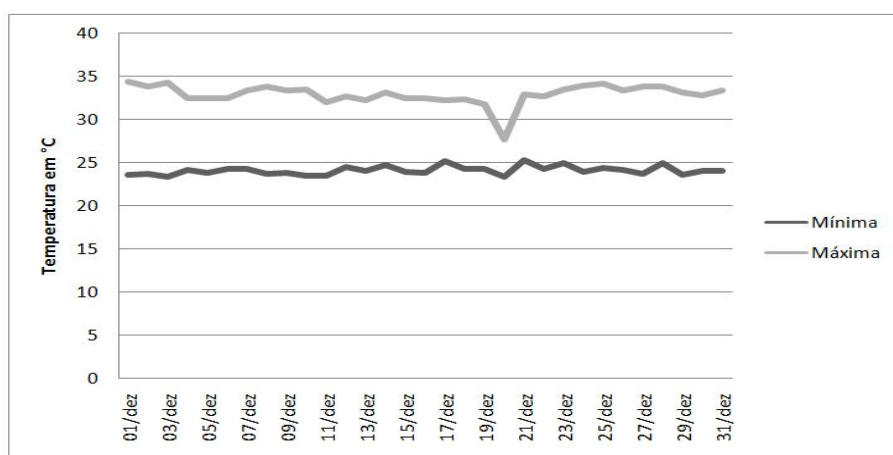


Figura 16: Modelo do sólido formado com o isolamento de paredes em todos os lados (Próprio)

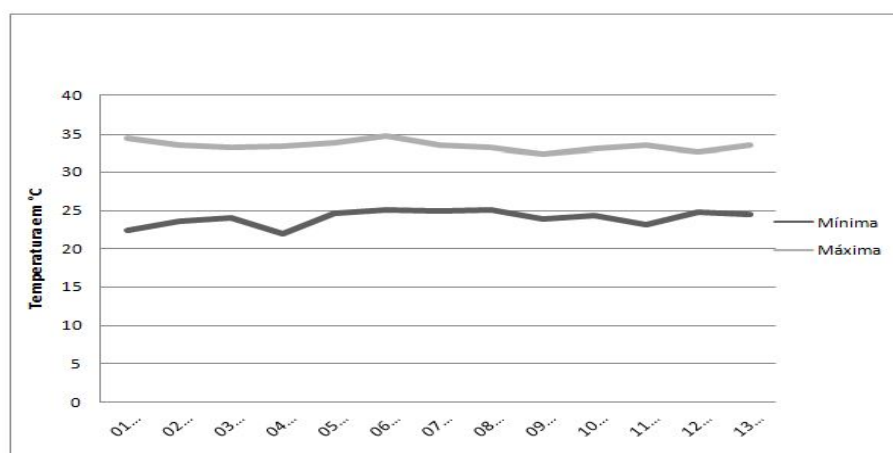


Figura 17: Modelo do sólido formado com o isolamento de paredes em todos os lados (Próprio)

Deve-se destacar que as alterações observadas no organismo animal objetivam reduzir a produção de calor (taxa metabólica) e incrementar as perdas de calor para o meio ambiente (DAMASCENO et al 1998). Por isso a importância de saber a temperatura exterior a ambientação animais uma vez que será esta a principal fonte de transferência de calor para o ambiente interno. Neste sentido, as vacas leiteiras tendem a reduzir consideravelmente a produção leiteira em razão do aumento da temperatura ambiente.

A temperatura interna está relacionada com a zona de conforto térmico do gado holandês. Essa temperatura foi escolhida de acordo com a máxima admissível que é de 25 a 27°C. Não existindo o consenso entre os autores resolveu-se optar por aquela que é mais baixa, 25°C em virtude da raça ser européia e seu corpo se adapta melhor a temperaturas mais baixas.

Tabela 3: Médias das temperaturas dos meses de Dezembro de 2013 e Janeiro de 2014.

Mês	Média da Máx. Temp. em °C	Média Mín. Temp. em °C
Dezembro de 2013	32,90	24,10
Janeiro de 2014	33,50	24,00
Média final	33,20	24,05

Fonte: Tempo agora (2014)

2.3 Modelagem matemática.

Nos testes matemáticos utilizamos a Equação 1.13, deduzida a partir da Lei de Fourier. O cálculo das resistências térmicas usa-se a Equação 1.14 no caso áreas em que há condução, a Equação 1.15 para áreas onde há convecção e a Equação 1.7 para observar a relação temperatura com massa de ar dentro da instalação.

As paredes correspondentes a lã de rocha, Poliestireno expandido e concreto celular são representadas pelos circuitos visto na Figura 18.

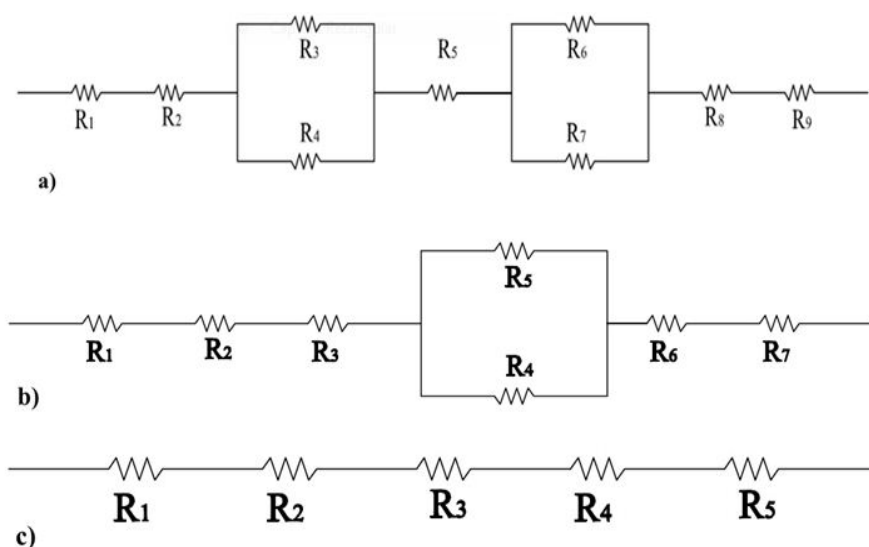


Figura 18: Representação dos circuitos para os três tipos de paredes. a) Circuito térmico para as parede com isolamentos de lã de rocha. b) Circuito térmico para parede com isolamento externo de EPS. c) Circuito térmico para paredes de concreto celular. (Própria)

Para fazermos o cálculo da transferência de calor precisamos conhecer alguns fatores como o tipo de material em cada etapa e seus valores específicos para serem analisados. Os referidos valores estão na Tabela 04.

Tabela 4: Materiais utilizados e seus respectivos coeficientes de condução do calor.

Material	k ($W/m^{\circ}C$)
Reboco (2,0cm)	0,40
Bloco cerâmico (14x9x24)cm	0,22
Lã de rocha (35 – 180kg/m ³)	0,04
EPS	0,04
Concreto celular 400kg/m ³	0,17
Argamassa de cimento (1,5cm)	1,15

Fonte: Barros (2009) e LabEEE (2010)

2.3.1 Parede com lã de rocha

Tem-se que:

R_1 : Resistência convectiva do ar exteriormente;

R_2 : Resistência condutiva do reboco;

R_3 : Resistência condutiva da argamassa;

R_4 : Resistência condutiva do tijolo;

R_5 : Resistência condutiva do isolante;

R_6 : Resistência condutiva da argamassa;

R_7 : Resistência condutiva do tijolo;

R_8 : Resistência condutiva do reboco;

R_9 : Resistência convectiva do ar interior.

O cálculo da resistência total é modelada e baseada no circuito da Figura (18.a). Seu cálculo pode ser visto da seguinte maneira.

$$R_t = R_1 + R_2 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} + R_5 + \frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7} + R_8 + R_9$$

Na região de Mossoró temos horas com altos índices de ventos e horas cujas velocidades são bem baixas fazendo com que se tenha tanto convecção forçada como natural. É preciso que tenhamos um parâmetro para fins de cálculo, uma vez que ele pode influenciar no coeficiente de transferência de calor por convecção. O coeficiente de convecção interno varia pouco durante o ano, mas o externo pode sofrer altas variações. “Valores que são usados comumente para os cálculos de carga de pico são para o interno de $8,29W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ e para o externo são $34W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ para o inverno e $22,7W/m^2$ para o verão”(ÇENGEL, 2009).

Esses valores são baseados em velocidades do vento com $24km/h$ no inverno e $12km/h$ no verão (ÇENGEL, 2009). Por estar no Semi Árido nordestino, Mossoró e região possuem temperaturas elevadas e chuvas irregulares, essa característica climática faz com que as áreas influenciadas sejam secas devido aos longos períodos de estiagem sendo essa uma característica do verão. É importante observar que para $1,0m^2$ de parede tem-se os blocos cerâmicos e argamassa ambos expostos na Tabela 04. Com os seus respectivos valores foi calculado a porcentagem de metro quadrado para cada um dos materiais sendo que o tijolo cerâmico ocupa aproximadamente 85% da área total.

2.3.2 Parede com isolamento exterior de EPS

Neste cálculo foi usado a Figura (18.b) como referência de rede de resistência. Com isso temos:

R_1 : Resistência convectiva do ar exteriormente;

R_2 : Resistência condutiva do reboco;

R_3 : Resistência condutiva do isolante EPS;

R_4 : Resistência condutiva do tijolo;

R_5 : Resistência condutiva da argamassa;

R_6 : Resistência condutiva do reboco;

R_7 : Resistência convectiva do ar internamente.

O cálculo da resistência total é modelada da seguinte maneira:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} + R_6 + R_7$$

2.3.3 Parede com concreto celular

Para este tipo de material utilizamos a Figura (18.c) tem-se:

R_1 : Resistência convectiva do ar exteriormente;

R_2 : Resistência condutiva do reboco;

R_3 : Resistência condutiva do concreto celular;

R_4 : Resistência condutiva do reboco;

R_5 : Resistência condutiva do ar interior.

Veja sua modelação matemática:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

É imprescindível mencionar que a argamassa do tijolo feito de concreto celular não é colocada na rede de resistência da Figura (18.c.) Visto que sua área em relação ao tijolo é muito pequena, logo sua participação na condução também é muito baixa em relação ao concreto celular. Por causa de sua baixa densidade os blocos de concreto celular podem chegar a dimensões de $60cm$ de largura e $30cm$ de altura. Já a argamassa tem espessura de no máximo $2,0cm$ não chegando nem a um décimo da contribuição total.

De acordo com a Equação 1.7 o produto da densidade do ar e o calor específico do mesmo significam a quantidade de calor necessária para elevar $1^{\circ}C$ de um determinado volume e a taxa de transferência de calor significa a quantidade de calor colocada no ambiente por unidade de tempo.

3 *Resultados e discussões*

As tabelas mostram a temperatura exterior máxima e a possível temperatura interior anteriormente vistas e está associada as temperaturas limites colocados por Pires & Campos, (2003). Considera-se também o coeficiente de transmissão de calor por convecção natural na parte interior da parede. Com isso pode se calcular a taxa de transferência de calor total que estão devidamente mostradas nas tabelas seguintes. Os valores da densidade do ar e do calor específico do mesmo foram retirados de Incropera (2008) e a relação entre os dois da Equação 1.7.

3.1 Lã de rocha

A Tabela 05 mostra a taxa da transferência de calor na parede dupla com isolante de lã de rocha juntamente com o produto do calor específico com a densidade do ar.

Tabela 5: Taxa de transferência de calor para paredes com o isolante lã de rocha.

Espessura (<i>mm</i>)	T. Exterior ($^{\circ}C$)	T. Interior ($^{\circ}C$)	Q_x	ρc
50	33,2	25	4,07	2771,58

Fonte: Autoria própria

Sua relação entre área e volume é que para cada metro quadrado temos um volume de $7,57m^3$ para elevar a temperatura em $1^{\circ}C$. O gráfico representado pela Figura 19 traz essas relações.

A Tabela 06 apresenta o acréscimo da taxa de transferência de calor de acordo com a diminuição da temperatura. É possível observar que o volume varia quase que de duas unidades para duas unidades de temperatura.

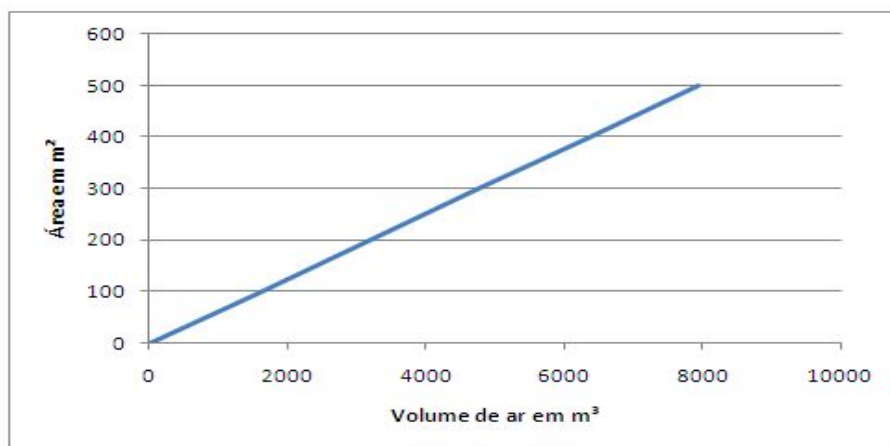


Figura 19: Caracterização da área/volume necessário para elevar 1°C em oito horas com a taxa de $4,07\text{W}$ (Próprio)

Tabela 6: Relação área/volume para aumentar a temperatura em 1°C em 8,0 horas para a lã de rocha.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Q_x (W)	Volume em (m^3) p/ 1,0 (m^2)
24	4,57	8,49
22	5,56	10,34
20	6,56	12,19
18	7,55	14,04
16	8,54	16,00

Fonte: Autoria própria

3.2 Isolamento exterior de EPS

Os dados quanto à taxa de transferência de calor estão expostos na Tabela 07 considerando a temperatura exterior de $33,2^{\circ}\text{C}$ e a interior de 25°C . A relação entre volume por área está representado pela Figura 20 no gráfico baseando-se na transferência de calor por apenas 1m^2 de parede. Os valores do crescimento da taxa de transferência de calor com a medida que se diminua a temperatura estão dispostos Tabela 08.

Tabela 7: Taxa de transferência de calor para paredes com o isolante EPS.

Espessura (mm)	T. Exterior ($^{\circ}\text{C}$)	T. Interior ($^{\circ}\text{C}$)	Q_x	ρc
50	33,2	25	4,65	2771,58

Fonte: Autoria própria

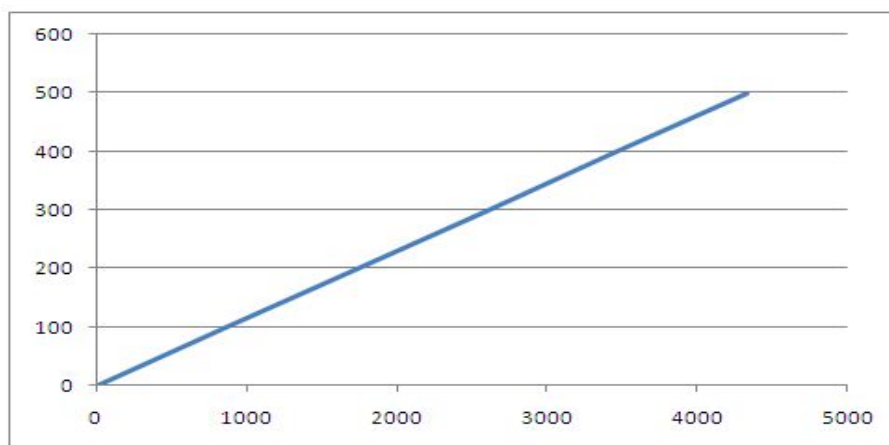


Figura 20: Caracterização da área/volume necessário para elevar 1°C em oito horas com a taxa de $4,07\text{W}$ (Próprio)

Na Tabela 8 temos valores correspondentes a diferença de temperatura externa que é de $33,2^{\circ}\text{C}$ e a interna variando de 24°C a 16°C com suas respectivas taxas de transferência de calor.

Tabela 8: Relação área/volume para aumentar a temperatura em 1°C em 8,0 horas para o EPS.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Q_x (W)	Volume em (m^3) p/ 1,0 (m^2)
24	5,21	9,70
22	6,35	11,81
20	7,48	13,91
18	8,62	16,02
16	9,75	18,13

Fonte: Autoria própria

Estes dados mostram como se comporta a condução do calor a medida que se adentra da parede externa para a interna. Com o gráfico pode-se observar o quanto de espaço seria preciso para que se variasse muito pouco a temperatura considerando que a efetividade do calor na Região de Mossoró seria de oito horas diárias. Com isso pode-se moldar o que aconteceria com a taxa de transferência de calor que está devidamente apresentada na Tabela 8.

3.3 Parede com concreto celular

Para este isolante usa-se as espessuras encontradas na maior parte dos fabricantes.

Em primeira instância pode se observar que a taxa de transferência decai de acordo com a espessura do bloco em forma exponencial decrescente. Isso quer dizer que quanto mais espessa for parede, menor será a resposta da mesma em relação a condução do calor. Com espessuras maiores que 250,0 mm a variação da taxa em relação ao que já se tinha é muito baixa não se tornando interessante. O gráfico a seguir mestrado pela Figura 21 mostra como se comporta a curva deste tipo de isolante.

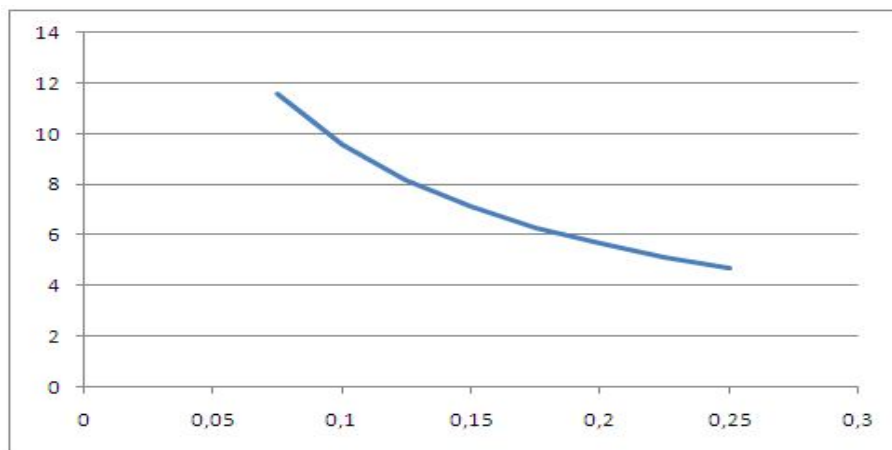


Figura 21: Curva representativa da taxa de transferência de calor de acordo com o aumento da espessura da parede de concreto celular.(Próprio)

Como queremos aquela que tem o maior proveito observou-se que a melhor seria a parede mais espessa, ou seja, 250,0mm. Os dados quanto à taxa de transferência de calor, a relação entre volume por área e o crescimento da taxa com a diminuição da temperatura estão indicados na Tabela 09, no gráfico representado pela Figura 22 e a Tabela 10, respectivamente.

Tabela 9: Taxa de transferência de calor para paredes de concreto celular.

Espessura (mm)	T. Exterior ($^{\circ}C$)	T. Interior ($^{\circ}C$)	Q_x	ρc
250	33,2	25	4,72	2771,58

Fonte: Autoria própria

É importante observar que todos estes valores dispostos na Figura 22 e na Tabela 10 estão relacionados com oito horas diárias de exposição a esta diferença de temperatura. Baseando-se que em uma dia a temperatura seja mínima (cerca de $24^{\circ}C$), ou até mesmo que algumas horas do dia a diferença de $8,5^{\circ}C$ do exterior para o interior provocará a mesma taxa e não excede a temperatura limite mínima citada em (OLIVEIRA & RIBAS, 1995).

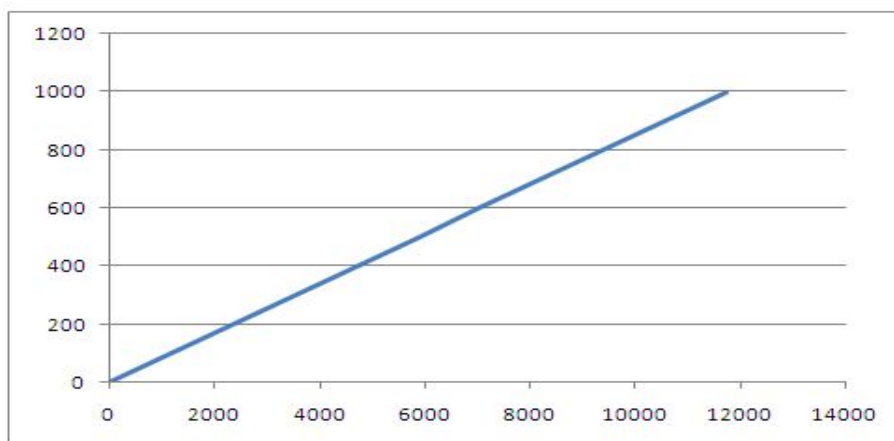


Figura 22: Caracterização da área/volume necessário para elevar 1°C em oito horas com a taxa de $4,65\text{W}$.(Próprio)

Tabela 10: Relação área/volume para aumentar a temperatura em 1°C em 8,0 horas para o concreto celular.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Q_x (W)	Volume em (m^3) p/ 1,0 (m^2)
24	5,30	13,14
22	6,45	16,00
20	7,61	18,86
18	8,76	21,71
16	9,91	24,57

Fonte: Autoria própria

3.4 Resultados finais

As Tabelas de 11 a 15 foram feitas de modo a reorganizar temperaturas internas menor que 25°C (cerca de 16°C). Ainda nas mesmas estão contidas informações sobre a relação área/volume. O telhado foi analisado com base no Anexo 1 e escolhido de acordo com o menor coeficiente global de transmissão do calor (Figura 33 do Anexo 1).

Tabela 11: Taxa e relação área/ volume para 24°C .

Tipo de Parede	Q_x (W)	Volume em (m^3) para 1,0 m^2
Lã de Rocha	4,57	8,49
EPS	5,21	9,70
Concreto Celular	5,30	13,14

Fonte: Autoria própria

Tabela 12: Taxa e relação área/ volume para 22°C.

Tipo de Parede	Q_x (W)	Volume em (m^3) para 1,0 m^2
Lã de Rocha	5,56	10,34
EPS	6,35	11,81
Concreto Celular	6,45	16,00

Fonte: Autoria própria

Tabela 13: Taxa e relação área/ volume para 20 °C.

Tipo de Parede	Q_x (W)	Volume em (m^3) para 1,0 m^2
Lã de Rocha	6,56	12,19
EPS	7,48	13,91
Concreto Celular	7,61	18,86

Fonte: Autoria própria

Tabela 14: Taxa e relação área/ volume para 18 °C.

Tipo de Parede	Q_x (W)	Volume em (m^3) para 1,0 m^2
Lã de Rocha	7,55	14,04
EPS	8,62	16,02
Concreto Celular	8,76	21,71

Fonte: Autoria própria

Tabela 15: Taxa e relação área/ volume para 16°C.

Tipo de Parede	Q_x (W)	Volume em (m^3) para 1,0 m^2
Lã de Rocha	8,54	16
EPS	9,75	18,13
Concreto Celular	9,91	24,57

Fonte: Autoria própria

Tabela 16: Taxa de transferência de calor em relação a temperatura para o telhado.

Temperatura	Taxa de Transferência de Calor
24	13,98
22	17,02
20	20,06
18	23,10
16	26,14

Fonte: Autoria própria

4 *Conclusões e Perspectiva Futura*

Conclui-se que é possível criar gado da raça holandesa em Mossoró e suas proximidades, garantindo a eficiência de seu potencial genético como raça legítima de grande produção de leite embora a região seja de clima tropical. Por meio das equações de Fourier foi comprovada que a mais eficiente é a parede dupla com isolante de lã de rocha. Como benefício, esse tipo de parede apresenta uma maior dificuldade de conduzir calor do meio externo para o interno. Quanto mais baixo for a temperatura interior melhor se apresenta a lã de rocha em relação aos outros materiais.

Mesmo com a parede dupla com isolante de lã de rocha, é preciso que haja um sistema eficiente de refrigeração, já que foi notado que não é possível manter a temperatura interna em 16°C apenas com o isolante. Neste caso a eficiência do refrigerador será de acordo com o tamanho da instalação podendo desligá-lo em algumas horas do dia levando em consideração que o isolante entrará em funcionamento para conservar o ambiente a temperatura desejada. Como a potência requerida para refrigerar o ambiente com isolamento é bem menor então é de se esperar que se gaste menos tempo para refrigerar o ambiente interno de acordo com a temperatura desejada.

O teto da instalação será feito de laje pré-moldada com 12cm de espessura sendo a mesma feita com concreto, EPS e argamassa com câmara de ar maior que $5,0\text{cm}$ e telha cerâmica (Figura 32). Este tipo de telhado é o que apresenta menor coeficiente global de transmissão do calor. Mesmo assim será preciso colocar um isolante na parte inferior do forro uma vez que a taxa de transferência de calor do telhado é superior a da parede. Esse isolante pode ser de EPS ou até mesmo de gesso como é comumente encontrado em construções e sua espessura calculada de acordo com a resistência da parede que deve ser de mesmo valor ou menor.

Para quem não quer acumular gastos com a parede dupla, o melhor seria o isolante exterior de EPS. O mesmo tem uma taxa de condução de calor muito parecida com a lã de rocha sendo uma diferença de $1 : 21\text{W}$ para cada metro quadrado. Não é uma boa

idéia utilizar paredes de concreto celular a não ser que o produtor esteja querendo uma forma rápida e imediata de fazer a instalação.

Haja vista a eficiência das paredes aqui estudadas é evidente que a melhor opção de criar gado holandês em clima tropical é a utilização da parede dupla com lã de rocha juntamente com o teto de laje pré-moldada com telha cerâmica, por conta das propriedades físicas dos materiais utilizados e o menor custo do sistema de refrigeração.

Referências

A. ÇENGEL, Yunus. Transferência de calor: Uma abordagem prática. 3. ed. São Paulo: Mcgraw-hill, 2009. 840 p. Tradução de Luíz Felipe Mendes de Moura.

INCROPERA, Franc P et al. Fundamentos de transferência de calor e massa. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 663 f. Eduardo Mach Queiroz e Fernando Luiz Peregrine Pessoa.

PIRES, M. F. A, CAMPOS, A. T. Relação dos dados climáticos com o desempenho animal. In: Resende H, Campos AT. Dados climáticos e sua utilização na atividade leiteira, 1ª ed. Juiz de Fora: Embrapa, 2003.

MYRRHA, M. A. de L. Guia de construções rurais à base de cimento. São Paulo: ABCP,(Benfeitoria para bovinocultura, 3). Guia 1996.

OLIVEIRA, Tadeu Almeida de; RIBAS, Otto Toledo. SISTEMAS DE CONTROLE DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE CONFORTO. Brasília: Impresso Com Recursos do Acordo de Cooperação Técnica Brasil/pnud, 1995.

BARROS, H. Estudo e avaliação das componentes térmicas na utilização de energia em edifícios. 2009. 254 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Madeira, Funchal, 2009.

BERLOFA, Aline da Silva. A viabilidade do uso do poliestileno expandido na construção civil. 2009. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Produção, Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2009. Cap. 2009.

DAMASCENO, Júlio Cesar; BACCARI JÚNIOR, Flávio; TARGA, Luiz Antônio. Respostas Fisiológicas e Produtivas de Vacas Holandesas com Acesso à Sombra Constante ou Limitada. R. Bras. Zootec, Botucatu, v. 27, n. 3, p.595-602, 1998.

MENDONÇA, P. Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados. 2005. Tese de Doutorado-Universidade do Minho, Portugal 2005.

MENDES, Pedro Filipe Sousa. Isolamentos térmicos em edifícios e seu contributo para

a eficiência energética: recomendações de projeto. 2012. 224 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Eng. Civil, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2012.

Canal do Produtor 2013. Disponível em: <<http://www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/brasil-e-quinto-colocado-no-ranking-mundial-da-producao-de-leite>> Acesso em 19/11/2013.

TITO, Carlos. Disponível em: <http://concretocelular.com.br/CONTATO_REPRESENTANTE_COMERCIAL.html> (Acesso em 01/01/2014 as 10;30)

VERNEQUE, R, S et al. Gado de leite: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Editores técnicos, Oriel Fajardo de Campos, João Eustáquio Cabral de Miranda. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF : Embrapa, 2012.

ARAÚJO, Alexandre Porto de. Estudos comparativos de diferentes sistemas de intalação para produção de leite tipo B, com ênfase no conforto térmico e na caracterização econômica. 2001. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2001.

MILANI. A. P; SOUZA. F.A. Granjas leiteiras na região de Ribeirão Preto. Jaboticabal, v.30, n.4, p.742-752, jul./ago. 2010.

FREITAS, Eduardo de. Características naturais do nordeste. 2014. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/geografia/caracteristicas-naturais-nordeste.htm>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

MORISHITA, Claudia. et al. Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas. Florianópolis: Labe, 2010. 4 v. 13 f.

EMBRAPA. Produção, Industrialização e Comercialização (Produção). 2013. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/destaques/tag/abaixo-de-zero/>>. Acesso em: 26 dez. 2013.

CIRAM, Epagri/. Recordes de Frio em SC. 2013. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=140&Itemid=364>. Acesso em: 26 dez. 2013.

Anexo 1

Tipos de telhados e suas respectivas características

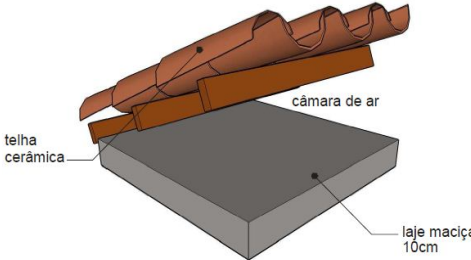
	Descrição:			
	Laje maciça (10,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica			
	U	C _T	α	FCS
	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]
	2,05	238,4	0,2	1,6
			0,4	3,3
			0,8	6,6

Figura 23: Telhado cerâmico com laje maciça (LabEEE 2010)

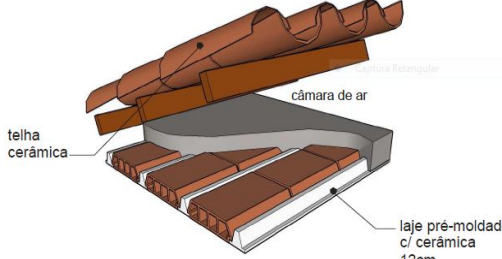
	Descrição:			
	Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica			
	U	C _T	α	FCS
	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]
	1,79	185	0,2	1,4
			0,4	2,9
			0,8	5,7

Figura 24: Telhado cerâmico com Laje pré-moldada feita de concreto, lajota cerâmica e argamassa (LabEEE 2010)

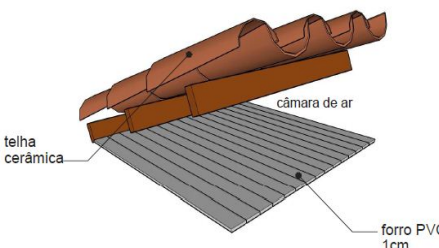
	Descrição:			
	Forro PVC (1,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica			
	U	C _T	α	FCS
	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]
	1,75	21,4	0,2	1,4
			0,4	2,8
			0,8	5,6

Figura 25: Telhado cerâmico com forro de PVC(LabEEE 2010)

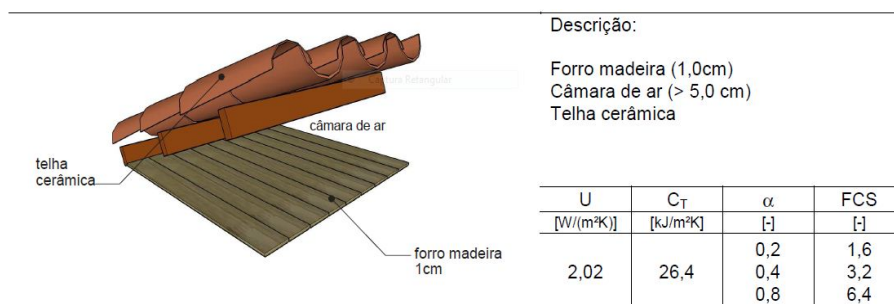


Figura 26: Telhado cerâmico com forro de madeira(LabEEE 2010)

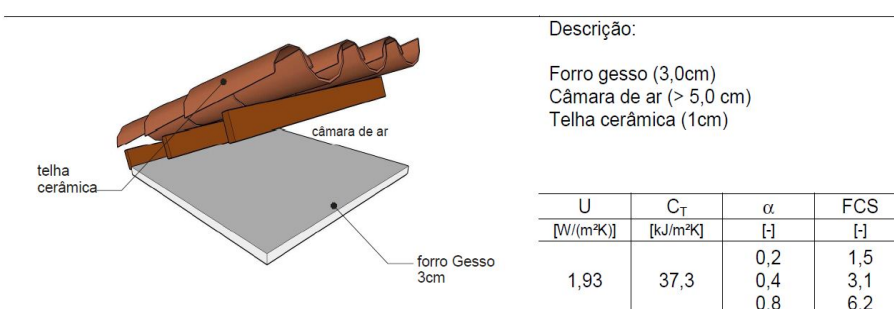


Figura 27: Telhado cerâmico com forro de gesso(LabEEE 2010)

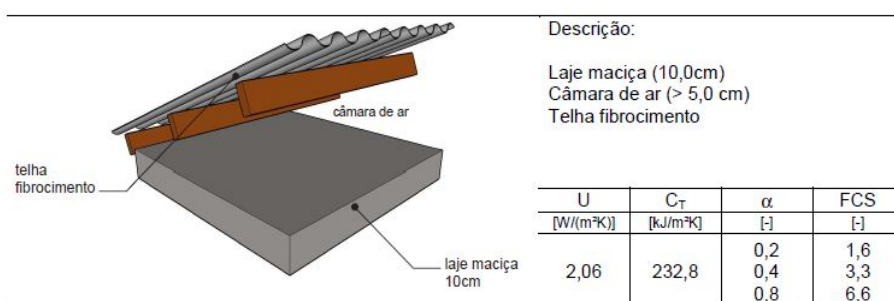


Figura 28: Telhado de fibrocimento com laje maciça (LabEEE 2010)

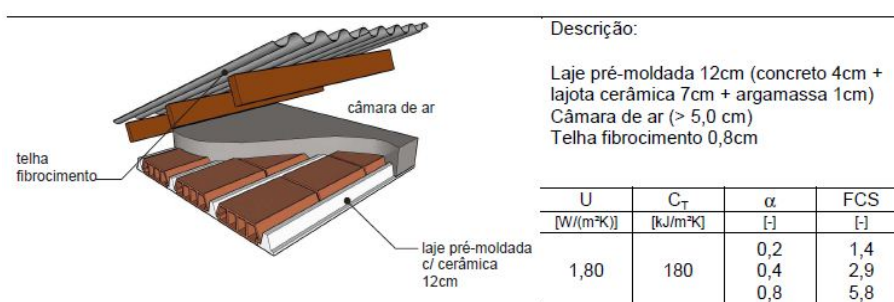


Figura 29: Telhado de fibrocimento com laje pré-moldada feita de concreto, lajota cerâmica e argamassa(LabEEE 2010)

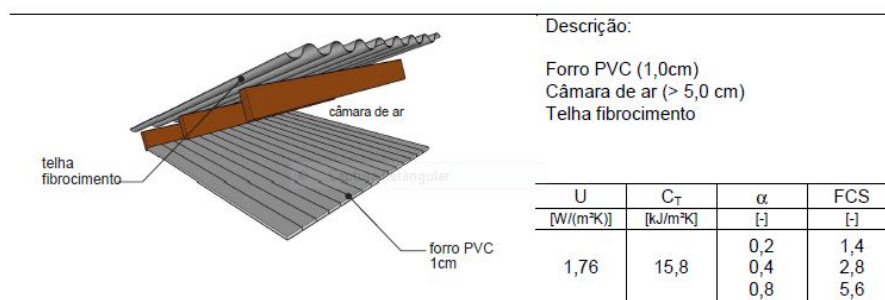


Figura 30: Telhado de fibrocimento com forro de PVC (LabEEE 2010)

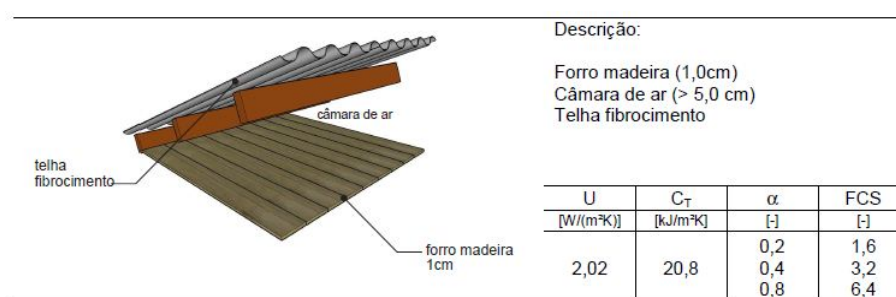


Figura 31: Telhado de fibrocimento com forro de madeira (LabEEE 2010)

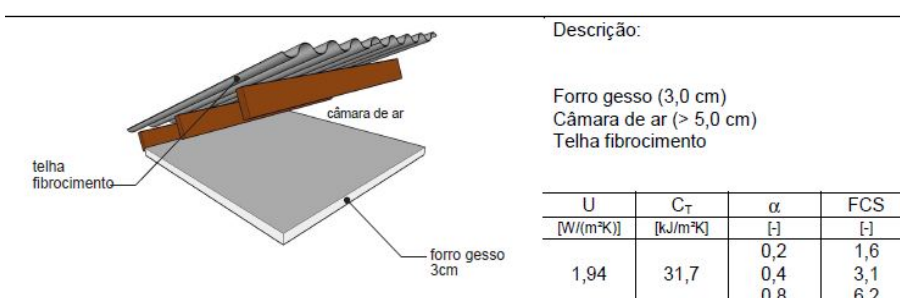


Figura 32: Telhado de fibrocimento com forro de gesso (LabEEE 2010)

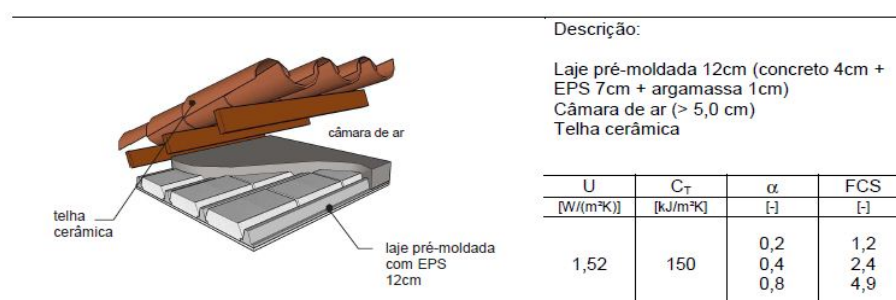


Figura 33: Telhado cerâmico com laje pré-moldada 12,0cm feito de concreto, EPS e argamassa (LabEEE 2010)

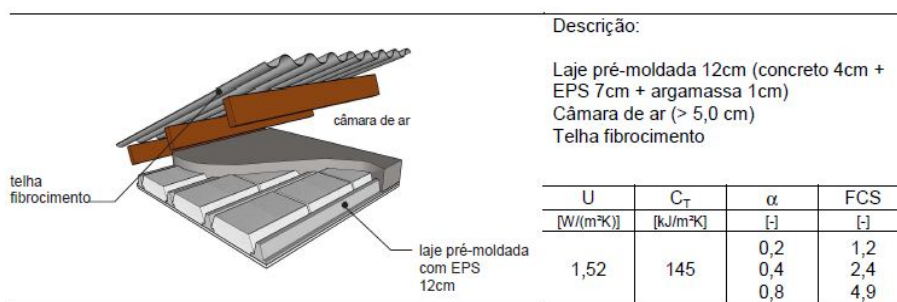


Figura 34: Telhado de fibrocimento com laje pré-moldada 12,0cm feito de concreto, EPS e argamassa (LabEEE 2010)

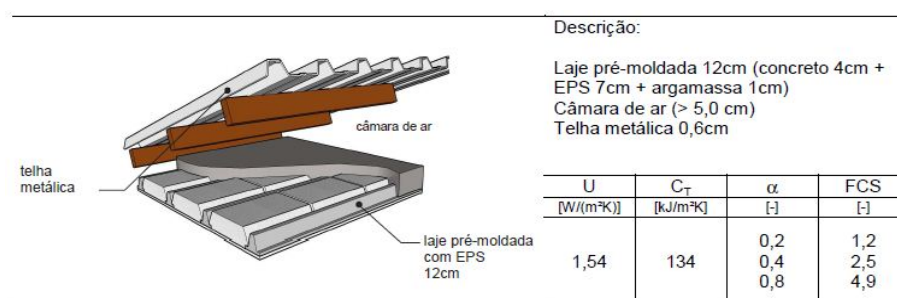


Figura 35: Telha metálica com laje pré-moldada 12,0cm feito de concreto, EPS e argamassa (LabEEE 2010)

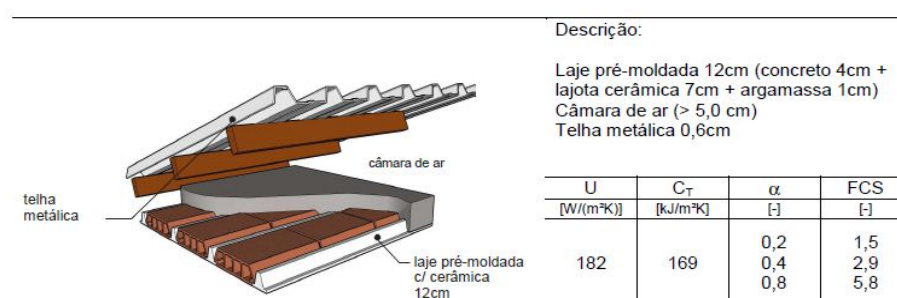


Figura 36: Telha metálica com laje pré-moldada 12,0cm feito de concreto, lajota e argamassa (LabEEE 2010)