

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

JOACIR ALEXANDRE ZAWODINE

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE MATERIAIS ISOLANTES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2016

JOACIR ALEXANDRE ZAWODINE

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE MATERIAIS ISOLANTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - Câmpus Medianeira, como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Tecnólogo em Manutenção Industrial.

Professor Orientador: Paulo César Tonin

MEDIANEIRA

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE MATERIAIS ISOLANTES

Por

Joacir Alexandre Zawodine

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 10hs00min do dia 1º de dezembro de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof.Dr. Paulo Cesar Tonin
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Orientador)

Prof..Me. Ivair Marchetti
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Neron Alípio Berghauser
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Yuri Ferruzzi
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Coordenador de Curso)

Prof. Me. Paulo Job Brenneisen
UTFPR – *Câmpus* Medianeira
(Resp. pelas atividades de Tcc)

O Termo de Aprovação devidamente assinado deste documento, encontra-se na Coordenação do Curso no Câmpus Medianeira.

RESUMO

ZAWODINE, Joacir Alexandre. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE MATERIAIS ISOLANTES**, 2016. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

O conceito de isolamento térmico é relativamente novo, ele surgiu com a necessidade de se reduzir os gastos com energia para aquecimento dos ambientes. Por definição o isolante térmico, é um material ou estrutura que dificulta a transmissão de calor. Por estas razões são utilizados como isolamento térmico materiais porosos ou fibrosos, capazes de imobilizar o ar seco e confiná-lo no interior de células mais ou menos estanques. No trabalho ora proposto construiu-se uma estrutura de ensaio para analisar o comportamento térmico de três isolantes térmicos, são eles: serragem, isopor e poliuretano. Como resultado observa-se que o tempo para atingir o equilíbrio térmico é menor na Serragem e maior no Poliuretano. Isto comprova a relação inversa entre K e o Tempo ($k=1/t$), bem como a excelente propriedade que o Poliuretano tem como isolante térmico, pois ele oferece uma grande resistência a passagem do calor. Comparado a serragem, o equilíbrio térmico do corpo de prova contendo poliuretano foi alcançado em 160 minutos (2 horas e 20 minutos) depois. Comparando o Isopor e a Serragem este tempo foi alcançado em 120 minutos (2 horas). Consegue-se observar na prática, portanto, o quão mais eficiente é o poliuretano e o isopor comparado com a serragem.

Palavras-chave: Eficiência Térmica. Máquinas Térmicas. Isolação Térmica.

ABSTRACT

ZAWODINE, Joacir Alexandre. **ANALYSIS OF THERMAL EFFICIENCY OF INSULATING MATERIALS**, 2016. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

The concept of thermal insulation is relatively new, it emerged with the need to reduce energy costs for heating environments. By definition the thermal insulation is a material or structure that hinders the transmission of heat. For these reasons, porous or fibrous materials are used as thermal insulation, capable of immobilizing the dry air and confining it inside more or less leaktight cells. In the proposed work, a test structure was constructed to analyze the thermal behavior of three thermal insulation: sawdust, styrofoam and polyurethane. As a result it is observed that the time to reach the thermal equilibrium is lower in the Sawdust and higher in the Polyurethane. This proves the inverse relation between K and Time ($k = 1 / t$), as well as the excellent property that Polyurethane has as a thermal insulation, since it offers a great resistance to the passage of heat. Compared to sawdust, the thermal equilibrium of the polyurethane containing specimen was reached in 160 minutes (2 hours and 20 minutes) afterwards. Comparing Styrofoam and Sawdust this time was reached in 120 minutes (2 hours). In practice, therefore, it is possible to observe how much more efficient polyurethane and styrofoam are compared to sawdust.

Key words: Thermal Efficiency. Thermal machines. Thermal Insulation.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1- EPS sendo utilizado em Lages	14
Figura 2 - Telha com espuma rígida de poliuretano	16
Figura 3 - Serragem	18
Figura 4 - Lã de vidro	18
Figura 5 - Chapas de MDF pré cortadas	20
Figura 6 - Vista frontal da estufa	21
Figura 7 - Vista isométrica da estufa	22
Figura 8 - Vista frontal da estufa em processo de montagem	22
Figura 9 - Vista frontal da estufa em fase de acabamento da montagem	23
Figura 10 - Dobradiça da porta.....	24
Figura 11 - Dobradiça montada na estufa	24
Figura 12 - Fecho para fechamento da porta da estufa	25
Figura 13 - Estufa com a porta aberta.....	25
Figura 14 - Dimensões da caixa de prova	26
Figura 15 - Montagem das caixas externas do corpo de prova.....	27
Figura 16 - Montagem das caixas externas do corpo de prova.....	27
Figura 17 - Isométrico cortado do corpo de prova.....	28
Figura 18 - Caixa interna do corpo de prova	29
Figura 19 - Vista frontal do corpo de prova com isolamento em isopor com furo para entrada do sensor de temperatura	30
Figura 20 - Vista superior do corpo de prova sendo preenchido com serragem	31
Figura 21 - Corpo de prova com serragem.....	32
Figura 22 - Corpo de prova pronto para a injeção de poliuretano	33
Figura 23 - Corpo de prova com poliuretano finalizado	33
Figura 24 - Todos os corpos de provas utilizados no trabalho	34
Figura 25 - Vista frontal da caixa de distribuição com o controlador e leitor de temperatura fixados.....	34
Figura 26 - Vista da parte de alimentação da caixa de distribuição	35
Figura 27 - Vista interna da caixa de distribuição.....	35
Figura 28 - Vista interna da estufa com resistência elétrica, sensor e ventilador	36
Figura 29 - Vista frontal da estufa	37

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Espessura versus temperatura que se deseja atingir.....	17
Tabela 2 - Resumo dos resultados obtidos	42

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Lista dos materiais usados na construção do experimento.....	19
Quadro 2- Quantidades e dimensões das peças em MDF.....	20

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico do equilíbrio térmico do interior da estufa.	38
Gráfico 2 - Gráfico de equilíbrio térmico para corpo de prova de serragem.....	39
Gráfico 3 - Gráfico do equilíbrio térmico para corpo de prova com isopor.	40
Gráfico 4 - Gráfico do equilíbrio térmico para corpo de prova com poliuretano.....	41
Gráfico 5 - Gráfico do equilíbrio térmico de todos isolantes analisados.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO CONCEITUAL	12
2.1 CALOR	12
2.2 FLUXO DE CALOR	12
2.3 CONDUÇÃO	13
2.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	14
2.5 ESPUMA DE POLIURETANO	15
2.6 SERRAGEM	17
2.7 LÃ DE VIDRO	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DA ESTUFA	20
3.2 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DOS CORPOS DE PROVA	26
3.3 MONTAGEM DO PAINEL DE CONTROLE E MEDIÇÃO	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Nas décadas de 1970 e 1980, quando o preço do petróleo disparou e o mundo tomou consciência da necessidade de reduzir o consumo de energia, o isolamento térmico passou a ter importância também para as regiões quentes, onde os gastos com climatização eram altos. Enquanto nos países frios o aquecimento e o isolamento térmico são questões de sobrevivência no inverno, nos países tropicais o isolamento térmico contribui para reduzir a carga térmica no verão sem o uso de sistemas de ar condicionado, ou com uma menor potência instalada destes aparelhos.

O conceito de isolamento térmico é relativamente novo, ele surgiu na década de 40, nos países de inverno rigoroso, com a necessidade de se reduzir os gastos com energia para aquecimento dos ambientes. Difundidos rapidamente por toda a América do Norte, a idéia de se usar isolantes térmicos nas edificações passou a ser mais disseminados na Europa depois do período da segunda guerra mundial, quando as cidades foram reconstruídas já sob a ótica da necessidade do isolamento (ISOLAMENTO TÉRMICO – CONFORTO AMBIENTAL, 2016).

No Brasil, os primeiros isolantes térmicos integrados a construção civil surgiram a partir da década de 1980. Esses isolantes podiam acompanhar qualquer tipo de projeto que priorizava o conforto térmico ou a redução de gastos com climatização, desde residências até as grandes torres comerciais (ISOLAMENTO TÉRMICO – CONFORTO AMBIENTAL, 2016).

Como definição, isolante térmico, é um material ou estrutura que dificulta a transmissão de calor, usado na construção e caracterizado por sua alta resistência térmica. Desta forma o isolamento térmico estabelece uma barreira à passagem do calor entre dois meios que naturalmente tenderiam rapidamente a igualarem suas temperaturas (ISOLANTE TÉRMICO, 2016).

O melhor isolante térmico é o vácuo, mas devido à grande dificuldade para obter-se e manter as condições de vácuo ele é muito pouco empregado. Na prática se utiliza ar, que graças a sua baixa condutividade térmica e um baixo coeficiente de absorção da radiação, constitui um elemento muito resistente à passagem de calor. Entretanto, o fenômeno de convecção que se origina nas câmaras de ar aumenta sensivelmente sua capacidade de transferência térmica. Além disso o ar deve estar seco, sem umidade, o que é difícil de conseguir nas câmaras de ar (ISOLANTE TÉRMICO, 2016).

Por estas razões são utilizados como isolamento térmico materiais porosos ou fibrosos, capazes de imobilizar o ar seco e confiná-lo no interior de células mais ou menos estanques. Ainda que na maioria dos casos o gás enclausurado seja ar comum, em isolantes de células fechadas (formados por bolhas não comunicantes entre si, como no caso do poliuretano injetado), o gás utilizado como agente espumante é o que fica finalmente enclausurado. Também é possível utilizar outras combinações de gases distintas, mas seu emprego é muito pouco extenso (ISOLAMENTO TÉRMICO, 2016).

Há vários tipos de materiais sólidos que podem ser bons isolantes, isso depende da utilidade dada, a temperatura de trabalho, ao local de instalação entre outros. Podem-se utilizar como isolantes térmicos: lã de poliéster, produzida a partir de garrafas pet, lã de rocha, fibra de vidro, hidrossilicato de cálcio, manta de fibra cerâmica, perlita expandida, vidro celular, poliestireno expandido, poliestireno estruturado, espuma de poliuretano, aglomerados de cortiça, etc (ISOLANTE TÉRMICO, 2016).

Como pode-se notar existem várias alternativas em se tratando de materiais usados como isolantes térmicos. No trabalho ora proposto o objetivo foi construir uma estrutura de ensaio para analisar o comportamento térmico de três isolantes térmicos. Ela foi composta de uma estufa isolada com 50 mm lã de vidro, com dimensões de 600 x 600 x 600 mm e com uma resistência interna para manter a temperatura próxima de 70°C. O equipamento tem ainda três corpos de prova com dimensões de 300 x 300 x 300 mm e cada corpo de prova é isolado com materiais isolantes diferentes e muito utilizados atualmente: poliuretano, isopor (poliestireno expandido - EPS) e serragem. O ensaio consiste em avaliar o tempo que a temperatura interna do ar, de cada corpo de prova, atinge a temperatura de equilíbrio da estufa, ou seja os 70°C. O isolante que demorar mais para atingir este equilíbrio apresenta o melhor desempenho, apresentando desta forma, um menor coeficiente de condutibilidade térmica.

2 REVISÃO CONCEITUAL

2.1 CALOR

Entende-se que calor não é algo que um corpo possua ou armazene, um corpo quente não é um corpo que possui muito calor, mas sim muita energia térmica média. Calor é apenas o nome da energia trocada por dois ou mais corpos (CALOR E QUANTIDADE DE CALOR, 2016).

Calor é um fluxo de energia, ou energia em trânsito, que se manifesta quando existem dois ou mais sistemas com temperaturas diferentes e que flui, espontaneamente, dos corpos mais quentes para os mais frios, até que se atinja o equilíbrio térmico ou que a interação entre eles seja desfeita (CALOR E QUANTIDADE DE CALOR, 2016).

É uma forma de energia em trânsito, que surge sempre que existe uma diferença de temperatura entre as partes de um sistema. Quando um sistema recebe calor, dizemos que a quantidade de calor associada a ele é positiva ($Q > 0$), já quando perde calor, dizemos que a quantidade de calor associada a ele é negativa ($Q < 0$) (TERMODINÂMICA, 2016).

2.2 FLUXO DE CALOR

A propagação do calor entre dois sistemas pode ocorrer através de três processos diferentes: a condução, a convecção e a irradiação.

A condução térmica, é um processo lento de transmissão de energia, de molécula para molécula, sempre no sentido das temperaturas mais altas para as mais baixas (PROPAGAÇÃO DO CALOR, 2016).

Na convecção térmica, as partes diferentemente aquecidas de um fluido movimentam-se no seu interior devido às diferenças de densidades das porções quente e fria do fluido. Tanto a convecção como a condução não podem ocorrer no vácuo, pois necessitam de um meio material para que possam ocorrer

A irradiação é a propagação de energia através de ondas eletromagnéticas, quando a energia dessas ondas é absorvida por um corpo, intensifica-se a agitação de suas moléculas, acarretando aumento de temperatura. Esse tipo de propagação energética pode ocorrer no vácuo (PROPAGAÇÃO DO CALOR, 2016).

Seja Q a quantidade de calor que passa por uma superfície A num intervalo de tempo Δt , define-se fluxo de calor (ϕ) como sendo o quociente entre Q e Δt expresso pela seguinte equação:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t \cdot A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

A unidade de fluxo de calor no SI é o Watt (W), isto é, Joule por segundo. No entanto, são muito usadas as unidades caloria por segundo (cal/s) e caloria por minuto (cal/min).

A definição de fluxo de calor é válida qualquer que seja o processo de propagação de calor através da superfície (PROPAGAÇÃO DO CALOR, 2016).

2.3 CONDUÇÃO

Entende-se por condução a forma de transferência de calor onde a energia é transferida de partícula para partícula, através da agitação atômico-molecular. Tal transferência só é possível em meios materiais e tende a ser mais acentuada em sólidos, pois a interação entre as partículas é maior (PROPAGAÇÃO DO CALOR, 2016).

Acredita-se que os elétrons livres tenham participação fundamental nesse processo, pois os metais são os materiais que mais eficientemente transmitem a energia por condução, sendo denominados bons condutores ou simplesmente condutores térmicos. Há materiais em que a condução ocorre de modo pouco intenso, sendo denominados maus condutores térmicos ou isolantes térmicos. Como exemplo, citamos os líquidos e os gases em geral, o isopor, a madeira, o feltro e a cortiça, esses materiais têm larga aplicação prática, sempre que se deseja isolamento térmico. Por este motivo, cabos de panela são de madeira ou plástico, geladeiras portáteis são de isopor, calorímetros são isolados com placas de cortiça, etc (PROPAGAÇÃO DO CALOR, 2016).

2.4 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O Poliestireno Expandido (EPS), conhecido no Brasil como Isopor, é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água. Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano, um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, sem comprometer o meio ambiente (ASSUMPÇÃO, 2009). Na Figura 1 pode-se ver um exemplo de EPS sendo utilizado em lajes na construção civil.



Figura 1- EPS sendo utilizado em Lajes
Fonte: Catálogo do produto EPS (ISOSANTAMARIA ®)

Durante a polimerização, o material em forma de pérola é espumado pela ação do vapor d'água, durante esta operação, o volume destas partículas termoplásticas é aumentado várias vezes, obtendo-se uma espuma formada de células fechadas. Este material é composto de aproximadamente 98% de ar e 2% de poliestireno. O material possui uma estrutura celular muito fina: em 1cm³ de material espumado encontram-se aproximadamente 3500 a 5000 células, com paredes de espessura de 1 a 2 µm (CARGA TÉRMICA DE REFRIGERAÇÃO, 2016).

Na prática, a condutividade térmica das placas de poliestireno depende da massa específica, da temperatura e da umidade. Este coeficiente se reduz à medida que a massa específica aumenta, apresentando um valor mínimo de 0,037 W/mK

para massas específicas entre 30 e 50 kg/m³. Acima deste valor, a condutividade volta a subir lentamente. Outra propriedade importante das placas de poliestireno é sua resistência mecânica a esforços de curta e longa duração, medida através do esforço à compressão (CARGA TÉRMICA DE REFRIGERAÇÃO, 2016).

O poliestireno não sendo higroscópico, quando submerso, absorve pequena quantidade de umidade, por exemplo, a quantidade de água absorvida por imersão, após um ano é de aproximadamente 2 a 5% em volume, dependendo do tipo. A difusão do vapor d'água nestes materiais dá-se lentamente, sempre que exista um gradiente de temperatura. Os valores normais são em torno de 0,035% em volume para exposição de 90 dias (ar com umidade relativa de 95%). Quanto à temperatura mínima de utilização, praticamente não existe limite embora os fabricantes estabeleçam um limite de -200 °C. Para temperaturas elevadas, a temperatura máxima admissível depende da duração desta ação e do esforço mecânico, podendo variar, no entanto, entre 85 e 100 °C. O poliestireno é classificado em dois tipos: P, pérolas transparentes e incolores para a fabricação de material isolante, corpos moldados, etc e tipo F, que é auto extingüível(CARGA TÉRMICA DE REFRIGERAÇÃO, 2016).

2.5 ESPUMA DE POLIURETANO

O poliuretano (PU), composto patenteado em 1937 pela atual companhia BAYER®AG de Leverkusen (Alemanha), é considerado um dos principais polímeros das últimas décadas, dentre outros motivos, pela imensa versatilidade em se obter materiais com propriedades físicas e químicas diferentes (CANGEMI, et al. 2009). Os poliuretanos tiveram seu início em 1849 quando Wurtz e Hofmann reportaram pela primeira vez a reação entre um isocianato e um composto hidroxílico (ESPUMAS FLEXÍVEIS,2016).Tal fato permite aos PUs ocupar uma posição importante no mercado mundial de polímeros sintéticos. Na Figura 2 pode-se verificar uma telha do tipo sanduíche com o a espuma rígida de poliuretano.

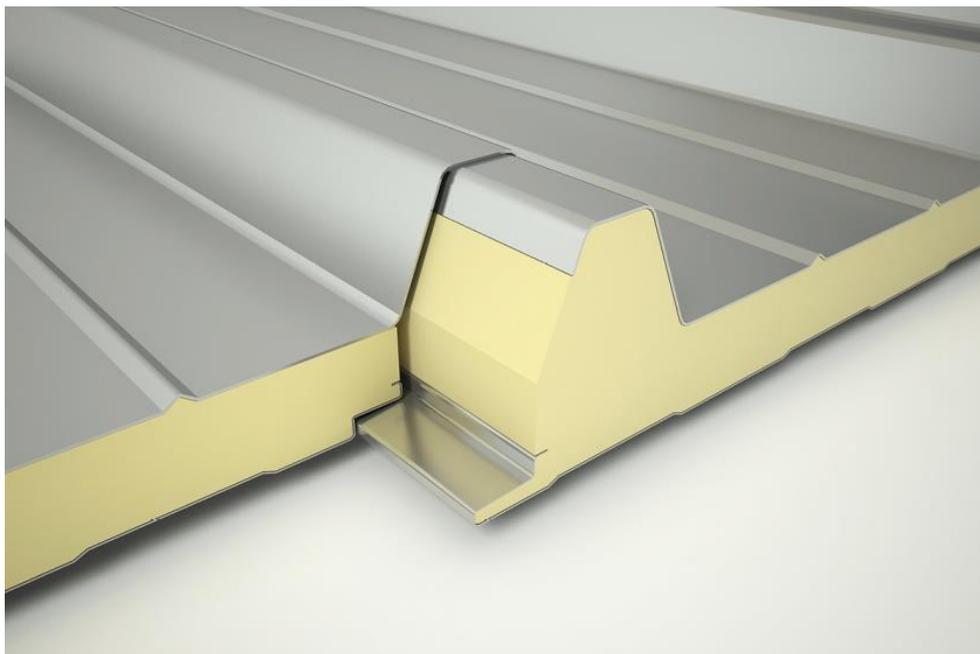


Figura 2 - Telha com espuma rígida de poliuretano

Fonte: Catálogo do produto Espuma de Poliuretano (TECTÉRMICA®)

Nos anos 1950, descobriu-se a fórmula exata para a confecção de espumas diversas de PU: flexíveis para colchões e acolchoados ou rígidas para aplicações técnicas. Na década de 1960, o uso de clorofluorcarbonos (CFC) como agente de expansão das espumas rígidas resultou no grande emprego desse material em isolamento térmico. Já nos anos 1970, as espumas semirrígidas revestidas com materiais termoplásticos entraram de maneira definitiva na indústria automobilística. Nos anos 1980, houve crescimento da importância comercial dos PUs devido à utilização de moldagem por injeção e reação (RIM). Nos anos 1990, devido à preocupação com o meio ambiente, as indústrias renunciaram aos CFCs como propelente, considerados danosos à camada de ozônio estratosférico. Novos propelentes que não agridem o meio ambiente começaram a ser testados como, por exemplo, dióxido de carbono (CO₂) ou ciclopentano. Outro avanço na produção do PU é que, no passado, as pessoas ficavam assustadas com a inflamabilidade do material, aspecto que atualmente está sanado, sendo que ele atende a todos os padrões de segurança contra o fogo, que têm se tornado cada vez mais rigorosos (CANGEMI, et al. 2009).

O poliuretano apresenta boas características físicas tais como baixa condutividade térmica, em torno a 0,026 W/mK, boa resistência à compressão, baixa massa específica, alto percentual de células fechadas e elevada estabilidade dimensional a baixas temperaturas. Este tipo de isolante, devido as suas ótimas características, pode ser empregado para temperaturas desde -200 °C até +100 °C (ESPUMA DE POLIURETANO, 2016). Outra grande vantagem apresentada pelo poliuretano é que pode ser expandido no local da obra, como inconvenientes, apresenta: diminuição da capacidade de isolamento com o tempo em função da

difusão dos vapores dos gases utilizados na expansão e também a possibilidade de liquefação destes gases a baixas temperaturas (PROPRIEDADES FÍSICA E QUÍMICA DAS ESPUMAS DE POLIURETANO FLEXÍVEIS, 2016).

Na tabela1 é apresentada uma recomendação quanto à espessura mínima de isolamento em função da temperatura do espaço refrigerado.

Tabela 1 - Espessura versus temperatura que se deseja atingir

Temperatura da câmara(°C)	Espessura(mm)
4 a 16	50
-9 a 4	75
-26 a -9	100
-40 a -26	125

A aplicação de espuma rígida de poliuretano, é um excelente isolante térmico, por eliminar completamente o fluxo de calor em regiões da edificação com diferentes materiais (Ex: paredes e janelas). Esta espuma é aplicada a altas pressões sobre a superfície, o calor gerado durante a aplicação produz uma vaporização espontânea do agente espumante que faz com que o material aumente até 35 vezes o seu volume, adquirindo em poucos segundos a sua configuração definitiva (ESPUMA DE POLIURETANO,2016).

2.6 SERRAGEM

A serragem, a qual pode ser vista na Figura 3, foi utilizada como um dos métodos para isolação térmica nos anos de 1800, tendo dados históricos que relatam que no ano de 1854, cerca de 160mil toneladas de gelo natural foram exportadas do porto de Boston. Sendo este gelo distribuído até longas distâncias através de navios dotados de isolamento térmico com serragem. As casas de gelo, ao longo dos EUA nessa época, costumeiramente faziam uso de serragem como isolante térmico e muitas tinham paredes de até 1 metro de espessura (SILVA, 2004).



Figura 3 - Serragem
Fonte: Morada da floresta

2.7 LÃ DE VIDRO

Para Silva (2013) a lã de vidro (Figura 4) é um material essencialmente composto de areia e cacos de vidro reciclado, possui reação passiva ao fogo, pois é incombustível por natureza, impedindo a propagação das chamas. Sua resistência à água é aceitável a curto prazo, porém quando submetido a umidade excessiva seu desempenho térmico torna-se medíocre. A durabilidade térmica da lã fibra de vidro é de dez anos, após esse período ela comprime-se e o seu desempenho torna-se diminuído. Possui densidade de 13 à 100 kg/m³, condutibilidade térmica de 0,039 W/m.°C e energia incorporada 225 kWh/m³.



Figura 4 - Lã de vidro
Fonte: Catálogo do produto Lã de vidro (DPF®)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A construção do experimento ora proposto deu-se na cidade de Toledo- PR, na oficina pertencente ao próprio autor deste trabalho, pois o local dispunha de todo o ferramental necessário para realizar o corte das chapas de MDF e a montagem da caixa principal e das caixas denominadas de corpos de prova, aquelas com os três diferentes materiais isolantes a serem testados.

No quadro 1 estão listados os materiais utilizados na construção do experimento.

Quant.	Descrição	Valores (R\$)
2	Chapas em MDF com medidas de 15 x 1850 x 2750mm	366,00
2	Dobradiças fabricadas no laboratório da UTFPR - MD	10,00
2	Fechos de pressão	34,60
2m	Borracha de vedação para a porta	50,00
2	Controladores FullGaugemodelo MT 512ri	114,90
5m	Fio Ø 2,5mm	5,25
5m	Cabo PP 2 x 2,5mm	16,00
2	Conectores para fio Ø 10mm	3,20
1	Caixa de derivação 240 x 190 x 125mm	38,90
1	Ventilador de 80x80x38mm, Bivolt	41,90
1	Resistência com potência de 1000W,127 v	50,00
1 caixa	Parafusos diversos	35,00
1	Lata de tinta 14ml	15,00
4	Pés plásticos para móveis	10,00
–	Lã de vidro	–
–	Serragem	–
–	Poliestireno expandido (EPS)	–
–	Poliuretano	–
–	Grampos	5,00
	TOTAL	795,75

Quadro 1 - Lista dos materiais usados na construção do experimento

3.1 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DA ESTUFA

Para dar início a construção do experimento, realizou-se a aquisição de duas chapas de placa de fibra de madeira de média densidade, mais conhecida por nós como MDF. Elas foram cortadas usando uma serra circular em peças com as seguintes quantidades e dimensões apresentadas no quadro 2.

Quant.	Dimensões	Descrição
7	600 x 600 mm	Parte externa e porta da estufa
5	500 x 500 mm	Parte interna da estufa
18	300 x 300 mm	Parte externa dos corpos de prova
12	170 x 170 mm	Parte interna dos corpos de prova
6	170 x 220 mm	Parte interna dos corpos de provas com distanciador para o fundo

Quadro 2- Quantidades e dimensões das peças em MDF

Na Figura 5 pode-se ver as peças cortadas em suas características finais.



Figura 5 - Chapas de MDF pré cortadas

Depois dos cortes de todas as peças, realizou-se os cortes de acabamento nas bordas e cantos. A primeira montagem a ser realizada foi a da estufa. Ela é composta de duas caixas, uma interna com 500 x 500 x 500 mm e outra externa com 600 x 600 x 600 mm. No espaço interno de 50 mm entre as duas caixas foi

colocada a lã de vidro. O desenho da vista frontal(Figura 6) e a vista isométrica da estufa(Figura 7), mostra como foi executado a montagem.

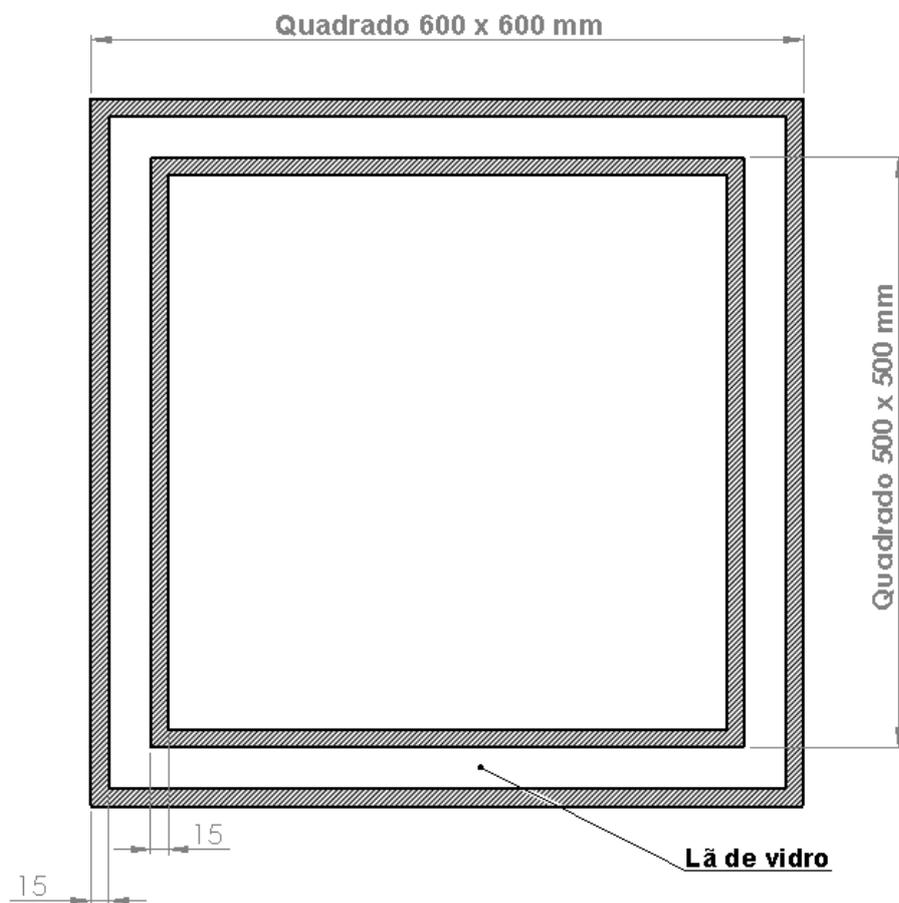


Figura 6 - Vista frontal da estufa

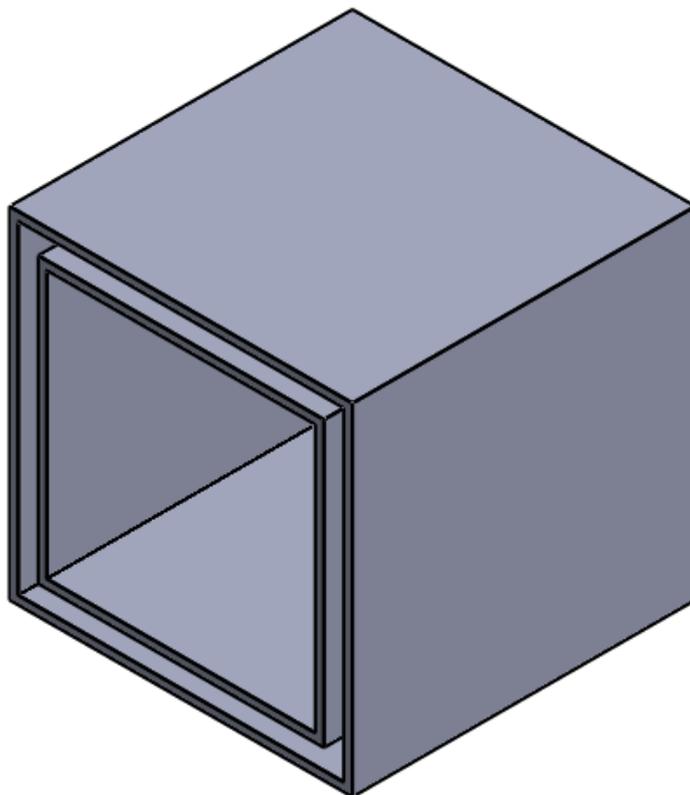


Figura 7 - Vista isométrica da estufa

Na Figura 8, pode-se visualizar a manta de lã de vidro colocada na parte de baixo, entre o espaço das duas caixas. Posteriormente, todos os espaços entre uma estrutura e outra foram preenchidos com lã de vidro.



Figura 8 - Vista frontal da estufa em processo de montagem

Na Figura 9 pode-se ver a estufa sendo finalizada.



Figura 9 - Vista frontal da estufa em fase de acabamento da montagem

Depois de todos os espaços serem preenchidos com lã de vidro a parte frontal destes espaços foi fechada com chapa de MDF que além de dar acabamento a estufa mantém o espaçamento entre as caixas e serve de suporte para colar a borracha de vedação da porta.

Para a fabricação da porta seguiu-se o mesmo padrão da estufa, sendo duas chapas de MDF separadas uma da outra, possuindo espaçamento de 50 mm entre as chapas e preenchido com lã de vidro.

Para a fabricação das dobradiças, figura 10, utilizou-se chapas de aço com as dimensões de 3 x 40 x 100 mm na base, e 3 x 40 x 60 mm no distanciador, um aço redondo com \varnothing 5 mm foi utilizado para ser o pino da dobradiça.



Figura 10 - Dobradiça da porta

Fabricadas as dobradiças, realizou-se a pintura das mesmas na cor cinza claro e após o processo de secagem de 12h, realizou-se a montagem das mesmas na estufa e na porta da estufa, conforme visualizamos na Figura 11.



Figura 11 - Dobradiça montada na estufa

Após este processo fixou-se também os fechos na lateral da estufa para o fechamento da porta, conforme visualizamos na Figura 12.

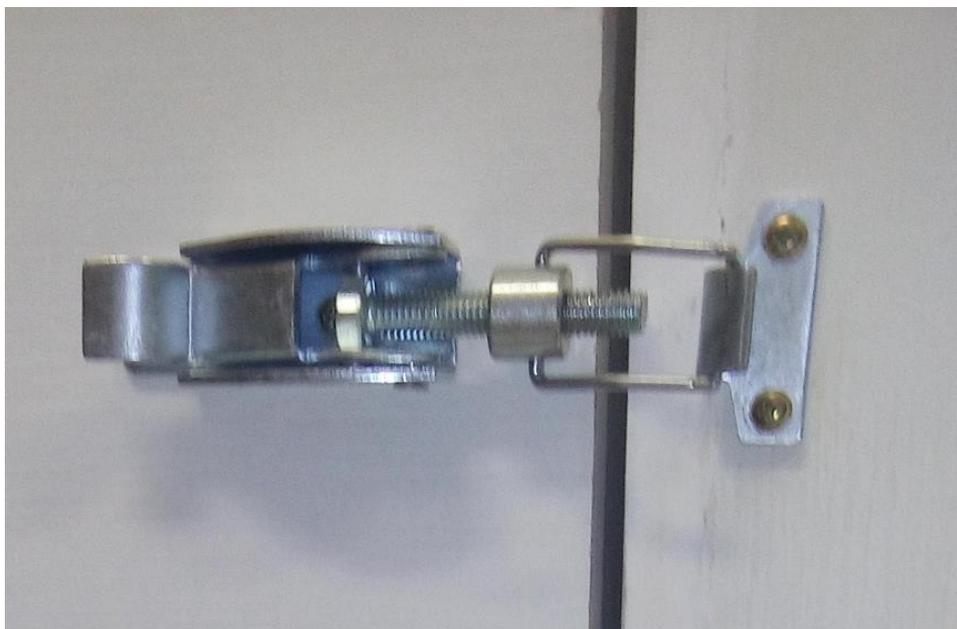


Figura 12 - Fecho para fechamento da porta da estufa

Na Figura 13 pode-se ver a estufa já finalizada.



Figura 13 - Estufa com a porta aberta

3.2 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Terminada a estufa, realizou-se a montagem das três caixas de prova que conteriam os materiais isolantes a serem testados. Na Figura 14 pode-se ver as dimensões que cada uma destas caixas tem.

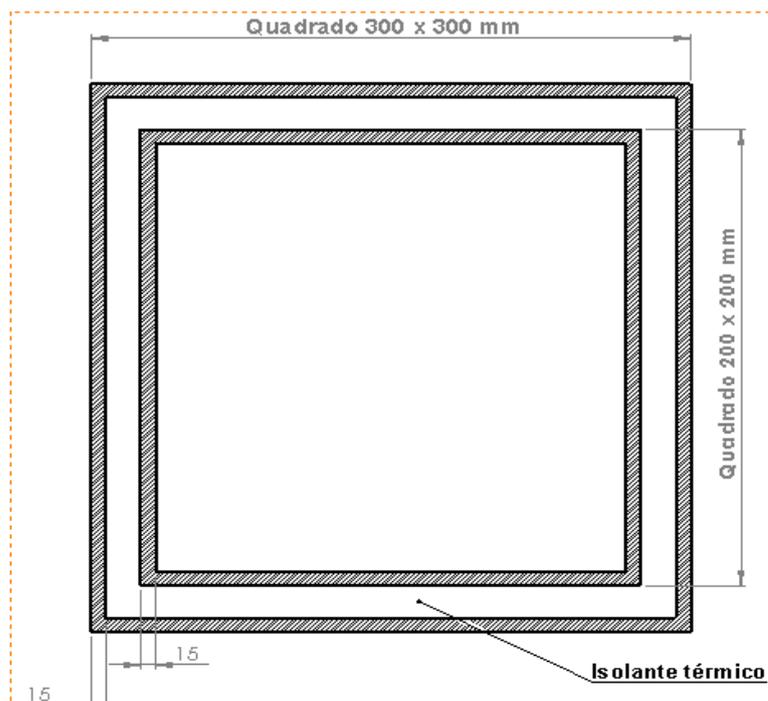


Figura 14 - Dimensões da caixa de prova

Na Figura 15 visualizamos a parte externa, 300 x 300 x 300 mm da caixa do corpo de prova.



Figura 15 - Montagem das caixas externas do corpo de prova

Na construção da caixa interna do corpo de prova usou-se as dimensões do desenho mostrado na Figura 16. O desenho mostra uma vista em corte do corpo de prova, evidenciando o detalhe do distanciador no fundo da caixa interna de 50 mm.

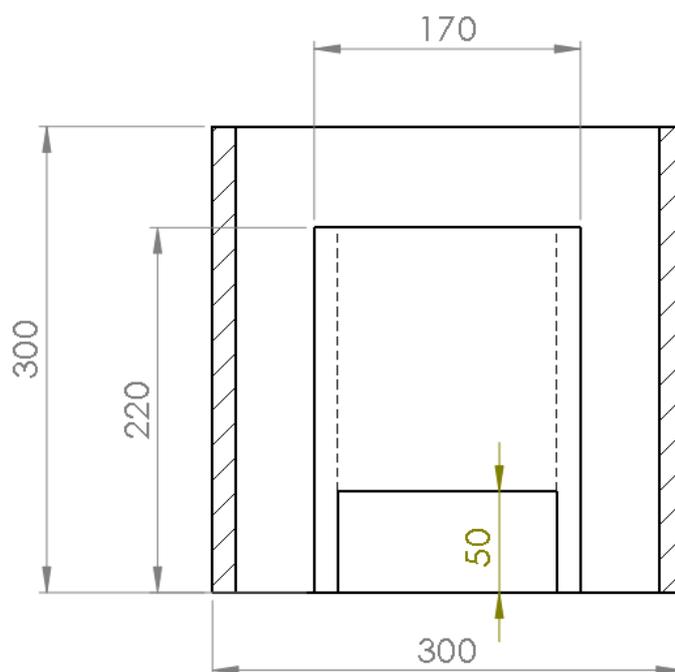


Figura 16 - Montagem das caixas externas do corpo de prova

Na Figuras 17 visualiza-se o desenho isométrico cortado do corpo de prova e na Figura 18 a caixa interna do corpo de prova depois de montado, respectivamente.

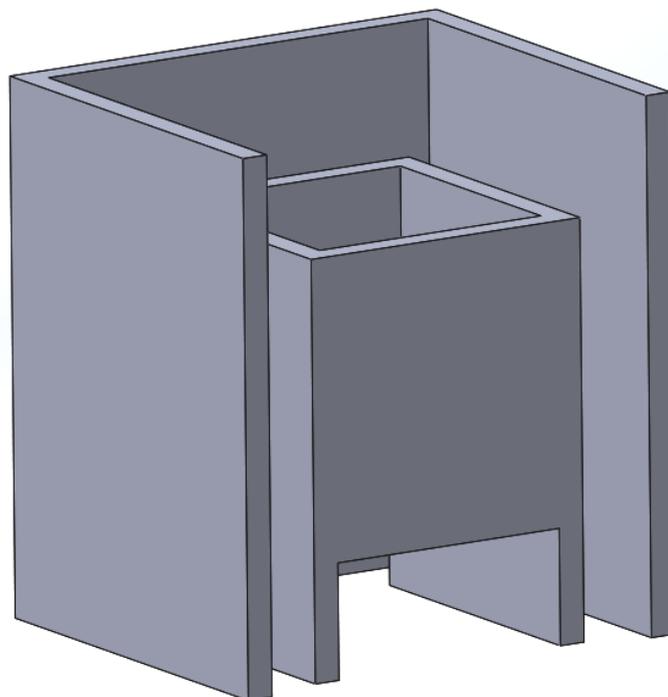


Figura 17 - Isométrico cortado do corpo de prova



Figura 18 - Caixa interna do corpo de prova

Com a montagem da caixa externa e internado corpo de prova realizou-se sua montagem final com a colocação dos materiais isolantes. O primeiro corpo de prova a ser montado foi o com o poliestireno expandido (EPS), que foi montado da seguinte forma:

- a) Utilizou-se uma placa de poliestireno expandido na espessura de 50 mm recortado em formato de quadrado com as dimensões 170 x 170 mm, o qual preencheu o espaço entre o fundo da caixa externa com o fundo da caixa interna;
- b) Introduziu-se a caixa de 170 x 170 x 170 mm dentro da caixa de 300 x 300 x 300 mm;
- c) Cortou-se duas placas com dimensões de 270 x 270 x 50 mm, duas placas com 170 x 270 x 50 mm e uma placa com 170 x 170 x 50 mm;
- d) Após realizado todo o preenchimento, fechou-se a caixa e realizou-se um furo a 150 mm da borda lateral e a 100 mm do chão para entrada do sensor de temperatura, Figura 19.



Figura 19 - Vista frontal do corpo de prova com isolamento em isopor com furo para entrada do sensor de temperatura

Para a montagem do corpo de prova com a serragem, realizou-se o seguinte procedimento:

- a) Com a caixa de 300 x 300 x 300 mm aberta introduziu-se a caixa de 170 X 170 X 170 mm deixando um espaçamento entre as paredes de 50 mm;
- b) Realizou-se a união das caixas através de dois parafusos no fundo;
- c) Logo após introduziu-se um pouco de serragem e realizou-se o processo de compactação da serragem, Figura 20;



Figura 20 - Vista superior do corpo de prova sendo preenchido com serragem

- d) Após a serragem do fundo ter sido toda compactada, realizou-se um furo com 100 mm de distância do fundo e 150 mm da lateral após a perfuração, introduziu-se uma mangueira plástica que servira como guia para o sensor de temperatura;
- e) Após a realização deste processo preencheu-se as laterais com serragem, sempre colocando um pouco de serragem e socando a mesma, repetindo o processo até a serragem ficar em torno de 15 mm da borda, ao alcançar esta altura bateu-se novamente a caixa para que a serragem terminasse de se assentar e fixou-se a tampa da caixa. Na Figura 21 pode-se ver o corpo de prova com serragem finalizado.



Figura 21 - Corpo de prova com serragem

Para a montagem do corpo de prova com poliuretano seguiu o seguinte procedimento:

- a) Introduziu-se a caixa de 170 X 170 X 170 mm na caixa de 300 X 300 X 300 mm com espaçamento entre as paredes de 50 mm;
- b) Após esta distribuição fixou-se uma caixa na outra com dois parafusos, realizando a vedação em ambas as caixas com silicone e fechado a caixa de 300 mm;
- c) Realizou-se um furo a 100 mm do fundo e 150 mm da lateral, introduzindo uma mangueira nesse furo e realizando uma isolação com silicone ao redor desta mangueira;
- d) Fez-se um furo de 15 mm no fundo, por onde introduziu-se o poliuretano no interior da caixa, Figura 22.

Na Figura 22 é possível visualizar a parte externa, 300 x 300 x 300 mm da caixa do corpo de prova, sendo preparado para ser injetado poliuretano.



Figura 22 - Corpo de prova pronto para a injeção de poliuretano

Na Figura 23 vê-se o corpo de prova de poliuretano já finalizado, e na Figura 24, são ilustrados os corpos de prova utilizados no trabalho já finalizados.



Figura 23 - Corpo de prova com poliuretano finalizado



Figura 24 - Todos os corpos de provas utilizados no trabalho

3.3 MONTAGEM DO PAINEL DE CONTROLE E MEDIÇÃO

Dentro da estufa foi instalada uma resistência de 1000 w e para controlar a temperatura da resistência dentro da estufa e medir a temperatura do ar dentro do corpo de prova utilizaram-se dois controladores da marca FullGauge modelo MT 512 ri que foram fixados em uma caixa de derivação de 240 x 190 x 125 mm, na Figura 25 é possível ver a vista frontal dos equipamentos instalados.



Figura 25 - Vista frontal da caixa de distribuição com o controlador e leitor de temperatura fixados

Na Figura 26 pode-se ver a parte elétrica que alimenta os controladores e na Figura 27, a vista interna da caixa de distribuição.



Figura 26 - Vista da parte de alimentação da caixa de distribuição



Figura 27 - Vista interna da caixa de distribuição

Dentro da estufa fixou-se a resistência elétrica na parte central do teto. Sua função é manter a temperatura interna da estufa em 70°C com uma variação de $\pm 2^\circ\text{C}$. O sensor de temperatura fica na região central da resistência a uma distância de 100 mm do teto da estufa e um ventilador foi montado ao lado deste sensor com a função de distribuir de maneira uniforme o calor em toda a estufa, conforme podemos ver na Figura 28.



Figura 28 - Vista interna da estufa com resistência elétrica, sensor e ventilador

Para garantir que as leituras dentro dos corpos de prova fossem realizadas sempre em uma mesma posição foram colocados no chão da estufa algumas guias. Na parte inferior direita da estufa está a entrada do sensor de temperatura do ar dentro dos corpos de prova. Na Figura 29 podemos ver a vista interna da estufa com todos os dispositivos descritos anteriormente.



Figura 29 - Vista frontal da estufa

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a estufa pronta realizou-se um teste para verificar quanto tempo seria necessário para que as temperaturas na parte superior e inferior da estufa atingissem o equilíbrio térmico. O gráfico 01 mostra o resultado deste teste e no apêndice estão todos os dados coletados e que foram usados na construção dos gráficos que serão mostrados a seguir.

Para tais leituras instalou-se um sensor no teto da estufa, este fica a 100 mm do teto, e outro na parte inferior da estufa.

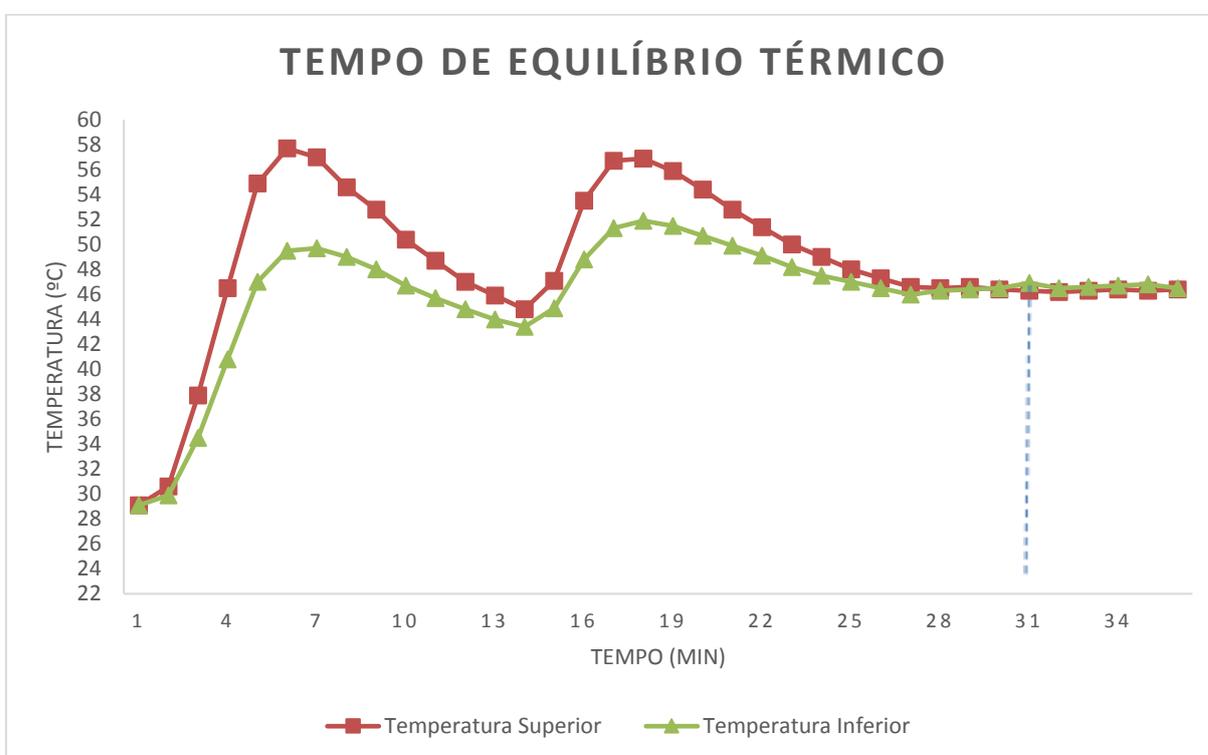


Gráfico 1 - Gráfico do equilíbrio térmico do interior da estufa.

No início do ensaio nota-se que as duas temperaturas estão próximas de 28°C. O intervalo de leitura dos sensores foi de 2 em 2 minutos. Passados 30 minutos de ensaio as duas temperaturas atingiram o equilíbrio térmico de 70°C. Este tempo de 30 minutos é importante para o estudo, pois é só a partir dele que as medidas, das temperaturas internas dos corpos de prova, deverão ser iniciadas.

Para os ensaios com os corpos de prova seguiu-se os seguintes procedimentos padrão:

- a) Coloca-se o corpo de provas no interior da estufa com a resistência desligada, introduz o leitor de temperatura no corpo de prova e fecha-se a estufa;
- b) Liga-se a resistência e após 30 minutos de funcionamento começa-se as leituras nos sensores de temperatura da estufa e do interior do corpo de prova.
- c) O intervalo de medição, entre a temperatura interna da estufa e a temperatura interna do corpo de prova, foi de 5 em 5 minutos.

O gráfico 2 mostra o resultado do ensaio usando o corpo de prova contendo SERRAGEM, sendo este realizado em um único ensaio.

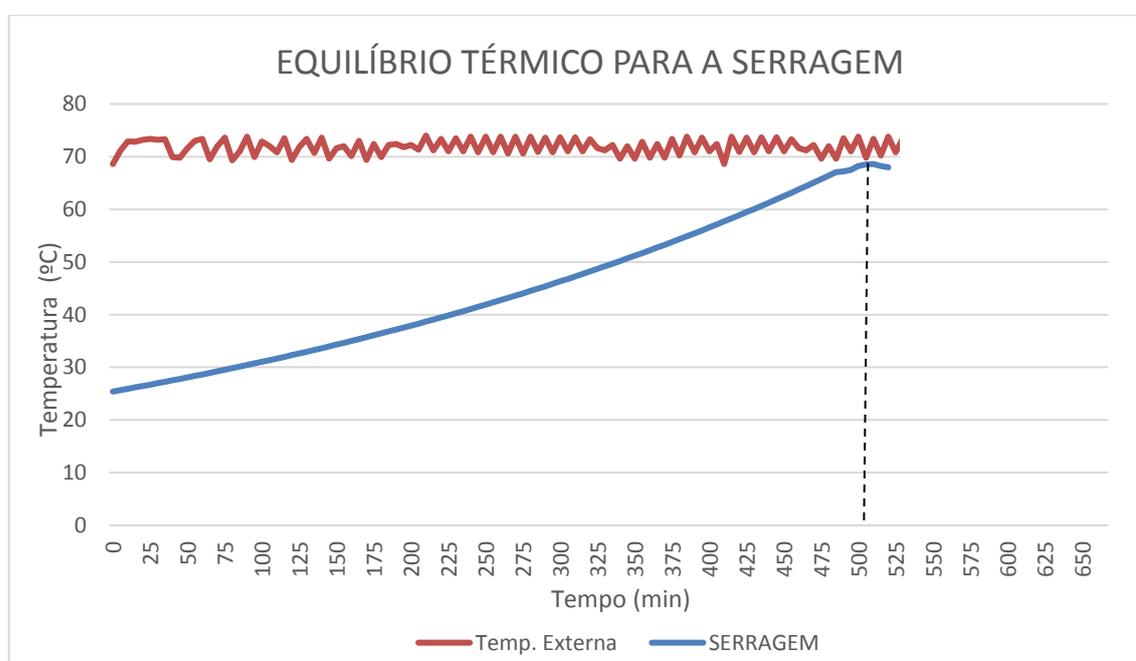


Gráfico 2 - Gráfico de equilíbrio térmico para corpo de prova de serragem.

Percebe-se no gráfico acima, que a temperatura ambiente da estufa fica aproximadamente em 70 °C conforme mostra a linha em vermelho. Já a temperatura no interior do corpo de prova, cresce de forma quase linear com o tempo, conforme mostra a curva em azul.

Observa-se no gráfico 2, que a equalização da temperatura ocorre em aproximadamente 500 minutos.

O gráfico 3 mostra o resultado do ensaio usando o corpo de prova contendo ISOPOR, sendo este realizado em um único ensaio.

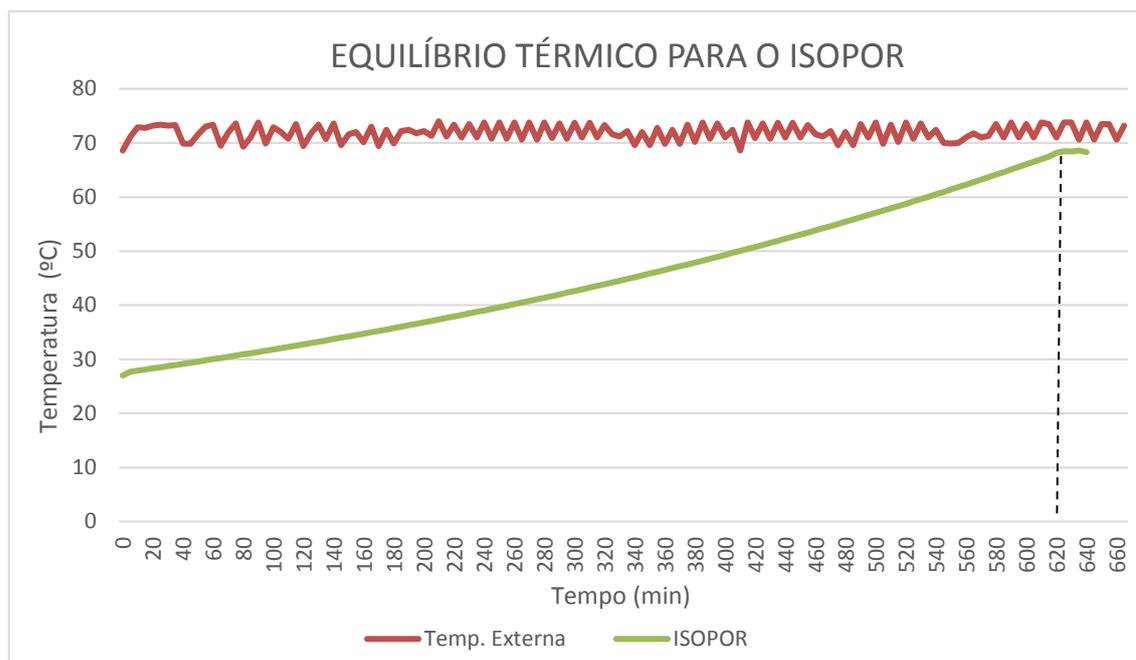


Gráfico 3 - Gráfico do equilíbrio térmico para corpo de prova com isopor.

Percebe-se no gráfico acima, que a temperatura ambiente da estufa fica aproximadamente em 70 °C conforme mostra a linha em vermelho. Já a temperatura no interior do corpo de prova, cresce de forma quase linear com o tempo, conforme mostra a curva em verde.

Observa-se no gráfico 3, que a equalização da temperatura ocorre em aproximadamente 620 minutos.

O gráfico 4 mostra o resultado do ensaio usando o corpo de prova contendo POLIURETANO, sendo este realizado em um único ensaio.

Percebe-se no gráfico abaixo, que a temperatura ambiente da estufa fica aproximadamente em 70 °C conforme mostra a linha em vermelho. Já a temperatura no interior do corpo de prova, cresce de forma quase linear com o tempo, conforme mostra a curva em roxo.

Observa-se no gráfico, que a equalização da temperatura ocorre em aproximadamente 660 minutos.

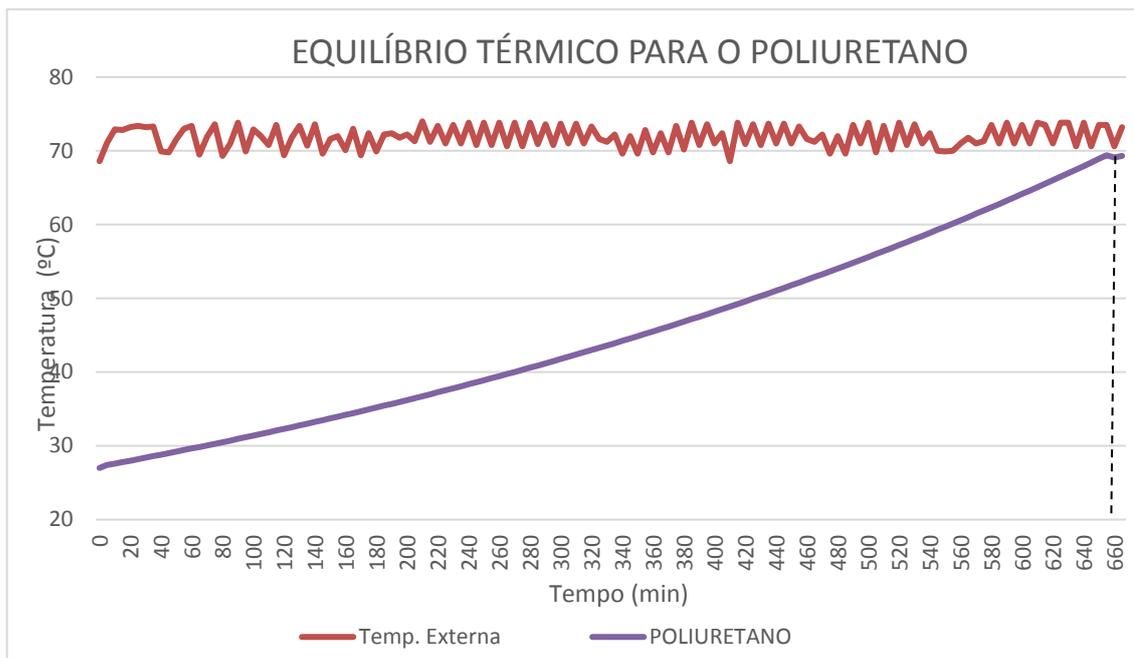


Gráfico 4 - Gráfico do equilíbrio térmico para corpo de prova com poliuretano.

O gráfico 5 permite uma melhor visualização dos resultados obtidos entre o tempo que a temperatura da estufa leva para se equalizar-se com a temperatura interna dos corpos de provas em estudo.

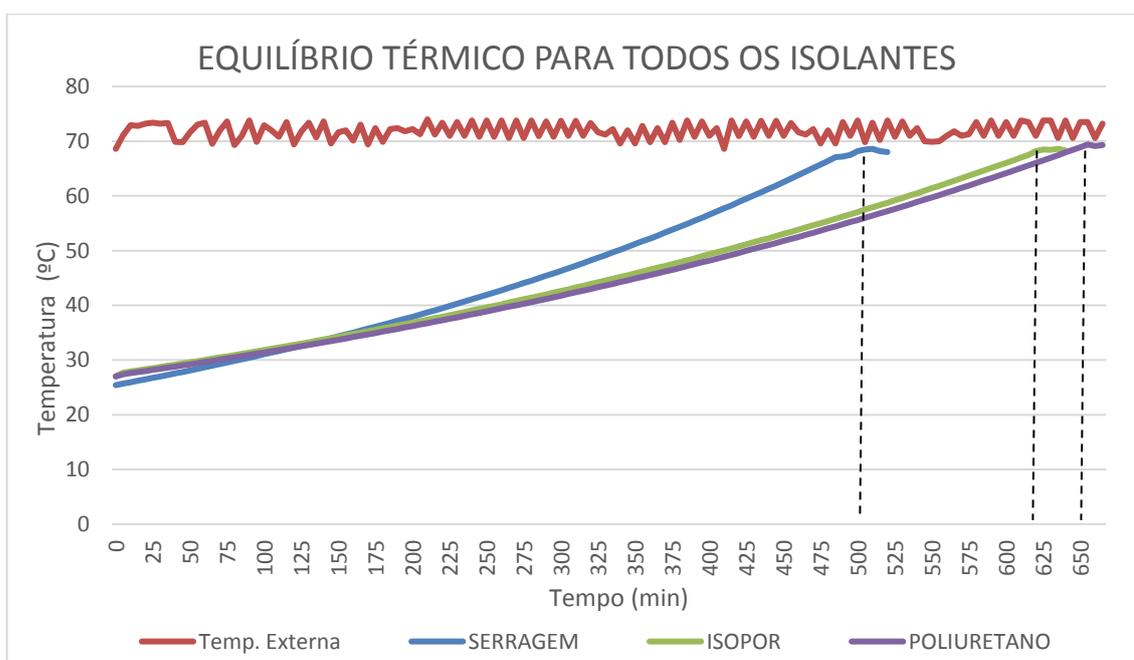


Gráfico 5 - Gráfico do equilíbrio térmico de todos isolantes analisados.

Na tabela 2 apresenta-se um resumo do ensaio realizado, observa-se que o maior coeficiente de condutibilidade térmica é o da Serragem e o menor, para o Poliuretano, segundo CONDUTIVIDADE TÉRMICA 2016. Observa-se também que o tempo para atingir o equilíbrio térmico é menor na Serragem e maior no Poliuretano. Isto comprova a relação inversa entre K e o Tempo ($k = t^{-1}$), bem como a excelente propriedade que o Poliuretano tem como isolante térmico, pois ele oferece uma grande resistência à passagem do calor. Comparado a serragem, o equilíbrio térmico do corpo de prova contendo poliuretano foi alcançado 160 minutos (2horas e 20minutos) depois. Comparando o Isopor e a Serragem este tempo foi alcançado em 120 minutos (2horas).

Tabela 2 - Resumo dos resultados obtidos

Isolante	Condutibilidade térmica K (W.m/k)	Tempo para atingir o equilíbrio térmico (min.)
Serragem	0,10	500
Isopor	0,033	620
Poliuretano	0,02	660

Consegue-se observar na prática, portanto, o quão mais eficiente é o poliuretano e o isopor comparado com a serragem. Tal fato acontece devido à quantidade de ar que existe preso no interior dos compósitos tanto do isopor como do poliuretano. Para materiais isolantes quanto maior for à quantidade de ar preso em suas moléculas melhor é seu isolamento (ESPUMA DE POLIURETANO, 2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo foi possível colocar em prática boa parte do aprendizado adquirido ao longo dos períodos do curso de manutenção industrial, tendo como base principal para tal estudos as matérias de física, laboratório de processos mecânicos, manutenção de máquinas térmicas.

Observou-se na prática que a condutividade térmica depende do tipo de material que é feito o isolamento e que sua eficiência é proporcional a quantidade de oxigênio preso em suas moléculas.

Para futuros experimentos, sugere-se:

- a) colocar um interruptor na resistência elétrica;
- b) realizar a troca do controlador e do leitor de temperatura por outros modelos capazes de se comunicar com um computador para que a aquisição dos dados de temperatura seja mais fácil e precisa;
- c) colocar mais duas resistências, uma em cada lateral da estufa;
- d) colocar um ventilador mais potente para que a homogeneização da temperatura no interior da estufa seja mais eficiente e rápida.
- e) construir novos corpos de prova com espessuras de isolamento diferentes e usando materiais como chapas de aço e acrílico;

REFERÊNCIAS

ASSUMPÇÃO, Roberto de T. Poliestireno Expandido. Universidade Estadual de Campinas – 2009.

CALOR E QUANTIDADE DE CALOR. Disponível em:
<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/termica/calor-e-quantidade-de-calor.html>.
Acessado em: 30/09/2016.

CANGEMI, José M, SANTOS, Antonia M, CLARO NETO, Salvador. Poliuretano: De Travesseiros a Preservativos, um Polímero Versátil, Química nova na escola. Vol. 31, N° 3, AGOSTO 2009.

CARGA TÉRMICA DE REFRIGERAÇÃO. Disponível em:
http://www.professor.unisinus.br/mhmac/Refrigeracao/CAP8_REF_2015_v1.pdf.
Acesso em: 21/09/2016

CONDUTIVIDADE TÉRMICA, Disponível em:
<http://fep.if.usp.br/~profis/experimentando/diurno/downloads/Tabela%20de%20Condutividade%20Termica%20de%20Varias%20Substancias.pdf>. Acesso em 10/09/2016.

EPS PARA LAJE UNIDIRECIONAL E BIDIRECIONAL, Disponível em:
<http://isosantamaria.com.br/produto/eps-para-laje-unidirecional-e-bidirecional/>.
Acesso em : 14/11/2016.

ESPUMA DE POLIURETANO , Disponível em:
<http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/ESPUMA%20DE%20POLIURETANO.pdf>.
Acessado em: 02/09/2016.

ESPUMAS FLEXÍVEIS, Disponível em:
<http://www.univar.com/Home/Brazil/Industries/~~/media/PDFs/BR%20Region%20PDFs/Catalogos/POLYURETHANE/COMPONENTES/Espumas%20Flexiveis.ashx>
Acessado em: 09/09/2016.

ISO PAINEL FRIGORÍFICO, DISPONÍVEL EM POLIESTIRENO E OU POLIURETANO, DIVERSAS ESPESSURAS E ACABAMENTOS. Disponível em:
<http://www.tectermica.com.br/iso-painel.htm>. Acesso em: 14/11/2016.

ISOLAMENTO TERMICO. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=0YHkrOiZIHQC&oi=fnd&pg=PA13&dq=isolantes+termicos&ots=2f17s1ToTA&sig=oF4y-PhidD1eYK8Hile9h3qyv4#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 22/09/2016.

ISOLANTE TÉRMICO, Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Isolante_t%C3%A9rmico. Acesso em: 23/09/2016.

ISOLANTE TÉRMICO - CONFORTO AMBIENTAL, Disponível em: <http://www.danicacorporation.com/sfDanica2/web/uploads/clipping/ed127.htm>. Acesso em: 28/09/2016.

ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO COM LÃ DE VIDRO E LÃ DE ROCHA, Disponível em: <http://comercialdpf.com.br/noticia/isolamento-termico-e-acustico-com-la-de-vidro-e-la-de-rocha>. Acesso em: 14/11/2016.

PROPAGAÇÃO DO CALOR, Disponível em: <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/termica/propagacao-do-calor.html>. Acesso em: 30/09/2016.

PROPRIEDADES FÍSICA E QUÍMICA DAS ESPUMAS DE POLIURETANO FLEXÍVEIS, Disponível em: http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/4774/4774_4.PDF. Acesso em 10/09/2016.

SILVA, Filipe M. F. Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores. 2013. 211 f. Tese (MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

SILVA, Jesué G. Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização. Editora Artliber, 2004.

TERMODINÂMICA, Disponível em: <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/termica/termodinamica.html>. Acesso em: 30/09/2016.

APÊNDICE

Tempo (min)	Temperatura externa (°C)	Temperatura serragem (°C)	Temperatura isopor (°C)	Temperatura Poliuretano (°C)
0	68,6	25,4	27,0	27,0
5	71,1	25,7	27,7	27,4
10	72,9	25,9	27,9	27,6
15	72,8	26,2	28,1	27,8
20	73,2	26,5	28,3	28,0
25	73,4	26,7	28,5	28,2
30	73,2	27,0	28,7	28,4
35	73,3	27,3	28,9	28,6
40	69,9	27,5	29,2	28,8
45	69,8	27,8	29,4	29,0
50	71,6	28,1	29,6	29,2
55	73	28,4	29,8	29,4
60	73,4	28,7	30,0	29,6
65	69,5	28,9	30,2	29,8
70	71,9	29,2	30,5	30,1
75	73,6	29,5	30,7	30,3
80	69,3	29,8	30,9	30,5
85	71	30,1	31,1	30,7
90	73,8	30,4	31,4	30,9
95	69,9	30,7	31,6	31,2
100	72,9	31,0	31,8	31,4
105	72	31,4	32,1	31,6
110	70,8	31,7	32,3	31,8
115	73,5	32,0	32,5	32,1
120	69,4	32,3	32,8	32,3
125	71,8	32,6	33,0	32,5
130	73,4	33,0	33,2	32,8
135	70,7	33,3	33,5	33,0
140	73,6	33,6	33,7	33,2
145	69,6	34,0	34,0	33,5
150	71,6	34,3	34,2	33,7
155	72	34,7	34,5	33,9
160	70,1	35,0	34,7	34,2
165	73	35,4	35,0	34,4
170	69,4	35,7	35,2	34,7
175	72,4	36,1	35,5	34,9
180	69,9	36,4	35,8	35,2
185	72,2	36,8	36,0	35,4

Tempo (min)	Temperatura externa (°C)	Temperatura serragem (°C)	Temperatura isopor (°C)	Temperatura Poliuretano (°C)
190	72,4	37,2	36,3	35,7
195	71,8	37,5	36,6	35,9
200	72,2	37,9	36,8	36,2
205	71,3	38,3	37,1	36,5
210	74	38,7	37,4	36,7
215	71,2	39,1	37,6	37,0
220	73,4	39,5	37,9	37,3
225	71	39,9	38,2	37,5
230	73,5	40,3	38,5	37,8
235	71	40,7	38,8	38,1
240	73,8	41,1	39,0	38,3
245	70,8	41,5	39,3	38,6
250	73,8	41,9	39,6	38,9
255	70,8	42,3	39,9	39,2
260	73,8	42,8	40,2	39,4
265	70,6	43,2	40,5	39,7
270	73,8	43,6	40,8	40,0
275	70,6	44,1	41,1	40,3
280	73,8	44,5	41,4	40,6
285	70,9	44,9	41,7	40,9
290	73,6	45,4	42,0	41,2
295	70,8	45,9	42,3	41,5
300	73,7	46,3	42,6	41,8
305	71	46,8	42,9	42,1
310	73,7	47,2	43,2	42,4
315	71	47,7	43,6	42,7
320	73,3	48,2	43,9	43,0
325	71,6	48,7	44,2	43,3
330	71,2	49,2	44,5	43,6
335	72,2	49,7	44,8	43,9
340	69,6	50,2	45,2	44,2
345	72	50,7	45,5	44,5
350	69,6	51,2	45,8	44,9
355	72,8	51,7	46,2	45,2
360	69,8	52,2	46,5	45,5
365	72,4	52,7	46,9	45,8
370	69,8	53,3	47,2	46,2
375	73,4	53,8	47,5	46,5
380	70,2	54,3	47,9	46,8
385	73,8	54,9	48,2	47,2
390	70,8	55,4	48,6	47,5

Tempo (min)	Temperatura externa (°C)	Temperatura serragem (°C)	Temperatura isopor (°C)	Temperatura Poliuretano (°C)
395	73,6	56,0	49,0	47,8
400	71	56,6	49,3	48,2
405	72,4	57,1	49,7	48,5
410	68,6	57,7	50,0	48,9
415	73,8	58,3	50,4	49,2
420	70,9	58,9	50,8	49,6
425	73,6	59,5	51,1	49,9
430	70,8	60,1	51,5	50,3
435	73,7	60,7	51,9	50,7
440	71	61,3	52,3	51,0
445	73,7	61,9	52,7	51,4
450	71	62,5	53,0	51,8
455	73,3	63,1	53,4	52,1
460	71,6	63,8	53,8	52,5
465	71,2	64,4	54,2	52,9
470	72,2	65,1	54,6	53,3
475	69,6	65,7	55,0	53,6
480	72	66,4	55,4	54,0
485	69,6	67,0	55,8	54,4
490	73,5	67,2	56,2	54,8
495	71	67,5	56,6	55,2
500	73,8	68,2	57,1	55,6
505	69,8	68,5	57,5	56,0
510	73,4	68,6	57,9	56,4
515	70,2	68,2	58,3	56,8
520	73,8	68,0	58,8	57,2
525	70,8		59,2	57,6
530	73,6		59,6	58,0
535	71		60,1	58,5
540	72,4		60,5	58,9
545	70		60,9	59,3
550	69,9		61,4	59,7
555	70		61,8	60,2
560	71		62,3	60,6
565	71,8		62,7	61,0
570	71		63,2	61,5
575	71,3		63,7	61,9
580	73,5		64,1	62,3
585	71		64,6	62,8
590	73,8		65,1	63,2
595	71		65,6	63,7

Tempo (min)	Temperatura externa (°C)	Temperatura serragem (°C)	Temperatura isopor (°C)	Temperatura Poliuretano (°C)
600	73,5		66,0	64,1
605	71		66,5	64,6
610	73,8		67,0	65,1
615	73,5		67,5	65,5
620	71		68,2	66,0
625	73,8		68,5	66,5
630	73,8		68,4	67,0
635	70,6		68,6	67,4
640	73,8		68,3	67,9
645	70,6			68,4
650	73,5			68,9
655	73,5			69,4
660	70,6			69,1
665	73,2			69,3