

DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE UMIDADE EM PEÇAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO PELO TESTE DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA¹

Euler Adriano Pereira do Carmo²

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de desenvolver e avaliar experimentalmente a utilização de um novo sistema de detecção de umidade residual, em peças moldadas de Poliestireno Expandido (EPS). A umidade é intrínseca ao processo de moldagem do EPS e tem forte influência no desempenho térmico e mecânico do material. Atualmente, na empresa onde foi realizado este estudo, a umidade das peças é controlada através de aferições de massa que são onerosas em relação ao custo operacional. Este trabalho propõe a utilização de um método que possibilite calcular o percentual de umidade absoluta, baseando-se na resistência elétrica entre dois pontos determinados nas peças. Além disso, realizou-se a caracterização mecânica dos CPs através de ensaio de resistência a compressão, objetivando identificar a existência de correlação entre tensão de compressão, percentual de umidade absoluta e resistência elétrica do material. O resultado do estudo demonstrou que existe correlação linear entre as variáveis analisadas, possibilitando encontrar uma equação que descreve essa relação, com R^2 de 0,97. A principal vantagem do método proposto para calcular o percentual de umidade, é a velocidade para determinação de umidade nas peças de EPS em aplicações industriais. Por este método, a detecção de umidade pode ser realizada em frente à máquina, utilizando um megômetro digital portátil, sem a necessidade de movimentação desnecessária das peças até a estação de pesagem. Também é possível fazer uma aproximação da tensão de compressão das peças de forma não destrutiva.

Palavras-chave: Percentual de umidade. EPS. Resistência mecânica. Resistência elétrica.

ABSTRACT

This article aims to develop and experimentally evaluate the use of a new residual moisture detection system, in expanded polystyrene (EPS) molded parts. Moisture is intrinsic to the EPS molding process and has a strong influence on the thermal and mechanical performance of the material. Currently, in the company where this study was carried out, the humidity of the parts is controlled through mass measurements that are costly in relation to the operational cost. This work proposes the use of a method that makes it possible to calculate the percentage of absolute humidity, based on the electrical resistivity between two points determined in the parts. In addition, the mechanical characterization of the PCs was carried out through a compressive strength test, aiming to identify the existence of a correlation between compression stress, percentage of absolute humidity and electrical resistivity of the material. The result of the study demonstrated that there is a linear correlation between the variables analyzed, making it possible to find an equation that describes this relationship, with R^2 of 0.97. The main advantage of the proposed method for calculating the moisture percentage is the speed for determining moisture in EPS parts in industrial applications. By this method, moisture detection can be performed in front of the machine, using a portable digital megometer, without the need for unnecessary movement of parts to the weighing station. It is also possible to approximate the compression stress of the parts in a non-destructive way.

Keywords: Moisture percentage. EPS. Mechanical resistance. Electric conductivity.

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para titulação no Curso de Graduação de Bacharelado em Ciências e Tecnologia, Centro Tecnológico de Joinville (CTJ), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sob orientação do Professor Dr. Gabriel Benedet Dutra.

² Graduando como Bacharel em Ciência e tecnologia. E-mail: euler.a.carmo@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O Poliestireno Expandido (EPS) é uma espuma sólida, derivada do petróleo. É um material que combina características como: leveza, propriedades de isolamento térmico e acústico, além de uma excelente processabilidade (ABIQUIM, 2020).

Estas características, aliadas a boa absorção de impactos e vibrações, permitem a utilização deste material em diversas aplicações.

É possível observar aplicações do EPS, por exemplo: nas embalagens e peças técnicas, tais como dutos de ar e barreiras térmicas da linha branca (eletrodomésticos de grande porte), calços de proteção para a linha marrom (áudio e vídeo), abafadores de ruído no setor automotivo, em soluções para a conservação de alimentos no agronegócio, na manutenção da cadeia de frios, no segmento de construção civil, entre outros nichos de mercado (TERMOTÉCNICA, 2020).

Para cada uma destas aplicações, faz-se um controle de qualidade, avaliando especificações técnicas distintas, tais como: massa, densidade, percentual de umidade, soldabilidade entre as pérolas, resistência térmica, resistência à compressão, entre outras.

Este estudo foi realizado no laboratório de ensaios mecânicos do centro de tecnologia e desenvolvimento, situado na matriz da empresa Termotécnica Ltda., uma indústria de injeção de EPS da cidade de Joinville/SC, e de acordo com o manual de trabalho desta empresa, normalmente nas embalagens de EPS (base, tampo e cantoneiras) para uso na linha branca, deve-se avaliar e controlar o percentual de umidade residual absoluta, pois, devido as grandes áreas de apoio na superfície do produto e em regiões estruturais, um eventual acúmulo de umidade na embalagem pode provocar danos à pintura dos gabinetes e o surgimento de oxidação, além de reduzir o desempenho à absorção de impactos (TERMOTÉCNICA, 2020).

Nestas aplicações, os sistemas de inspeção e controle de umidade devem ser confiáveis e agregar o menor custo possível ao processo, garantindo que as embalagens produzidas atendam as especificações de projeto.

Atualmente, na empresa onde foi realizado o estudo, a umidade residual é calculada a partir de uma análise diferencial de massa, onde as peças são coletadas em frente à máquina, organizadas em um carrinho transportador e conduzidas até a estação de pesagem. Cada uma das peças é pesada individualmente e reorganizada nos carrinhos transportadores para serem estufadas. Após a estufagem a temperatura padrão de 70°C, um operador faz uma nova pesagem, para determinar se as peças já se encontram suficientemente secas.

De acordo com a filosofia Lean manufacturing, estas manipulações desnecessárias das peças na planta da fábrica, desde a frente da máquina até a estação de pesagem são entendidas como perdas, e representam um custo operacional que não agrega valor ao produto.

O tema deste trabalho de pesquisa foi delimitado a partir da observação destas manipulações desnecessárias em uma indústria do setor plástico e identificação de uma oportunidade de melhoria (otimização) em termos de tempo de processamento e recursos financeiros.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo apresentar uma pesquisa científica, para desenvolver e avaliar a utilização de um novo sistema para a detecção de umidade residual em peças de EPS, que possibilite calcular o percentual de umidade residual a partir da aferição da resistência elétrica entre dois pontos da peça, uma vez que esta medição pode ser realizada logo após a confecção das peças em frente à máquina, sem a necessidade de movimentação para a estação de pesagem, utilizando um sistema simples com um megômetro digital portátil.

A metodologia para a aferição da resistência elétrica proposta neste trabalho foi elaborada pelo autor, uma vez que não foram encontradas referências normativas ou métodos aplicáveis para a realização deste ensaio em polímeros.

Esta associação da umidade residual com a resistência elétrica no EPS provém da observação e adaptação do teste de lixiviação de potássio, cálcio e magnésio (ou simplesmente teste de vigor) proposto por Prete (1992).

Segundo Barbieri et. al (2012), o teste de lixiviação é um procedimento rápido para avaliar a integridade da membrana celular dos grãos por meio da condutividade elétrica, permitindo confiabilidade na tomada de decisão a respeito das operações de colheita, processamento, armazenamento e comercialização dos grãos, diminuindo os riscos de perda, sendo este teste aplicado por muitas empresas do segmento de agronegócio para classificação do nível de vigor dos grãos (BARBIERI et al., 2012).

Para a realização do estudo, selecionou-se um conjunto de bases e tampos de EPS da linha de refrigeração, apresentados na parte de metodologia deste trabalho.

Devido à natureza da aplicação destas bases e tampos de EPS na composição de pilhas de refrigeradores, observa-se que estas peças são submetidas principalmente a esforços de compressão pura, por esta razão, além da realização do teste de resistência elétrica para determinar o percentual de umidade, também será realizada uma caracterização mecânica através de ensaios de compressão, para verificar se existe correlação entre as propriedades mecânicas, obtidas por meio do ensaio de compressão utilizando uma máquina universal de ensaios mecânicos, com o teor de umidade residual das peças e a resistividade elétrica calculada. A seção da metodologia referente aos ensaios mecânicos neste trabalho foi realizada conforme as normas aplicáveis.

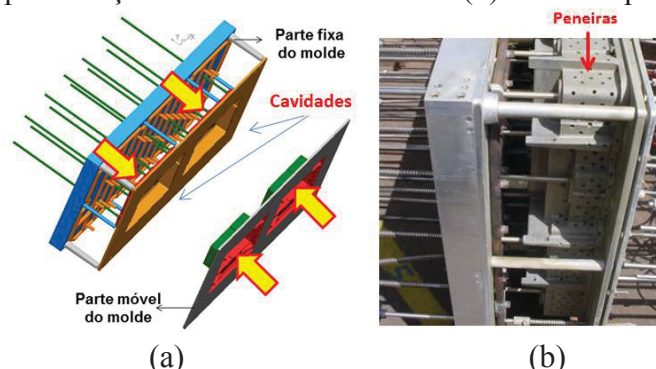
1.1 Processo de transformação do EPS e umidade absoluta

O processo de transformação do EPS consiste em três etapas: pré expansão, maturação e moldagem. A pré expansão é o resultado da reação dos grânulos de poliestireno com o agente expensor (pentano), onde as partículas podem aumentar até 50 vezes de tamanho.

A maturação ocorre em silos, e consiste em um período de tempo onde as pressões internas em cada um dos grânulos de matéria prima (usualmente chamados de pérolas de EPS) se equilibram com a pressão atmosférica, e por fim ocorre a expansão nos moldes, onde as pérolas se expandem e fundem umas nas outras, dando forma às peças (PADULA et al. 2020).

Na figura 1 (a) observa-se a representação simplificada de um molde de EPS, enquanto a figura 1(b) destaque para as peneiras das cavidades do molde de EPS, por onde ocorre a entrada e saída de vapor.

Figura 1 – (a) Representação de um molde de EPS e (b) Peneiras para fluxo de vapor



Fonte: Adaptado de PROMASS (2020).

A expansão final do EPS no processo de moldagem ocorre a partir da energia fornecida pela troca de calor do poliestireno maturado com o vapor de água que atravessa as cavidades do molde por meio das peneiras (ABIQUIM,2020).

Conforme representado pelas setas amarelas na figura 1, o fluxo de vapor no molde de EPS é bidirecional, ou seja, existe a vazão de vapor a partir da parte fixa do molde para a parte móvel, e a partir da parte móvel para a parte fixa, simultaneamente, provocando vapor cruzado dentro das cavidades, permitindo que todas as pérolas de EPS sejam aquecidas e expandidas (PROMASS, 2020).

Em condições normais de produção, ocorre que uma parcela do vapor que entra na cavidade do molde não consegue atravessar toda a barreira de EPS e sair pela face oposta, e acaba liquidificando e ficando preso dentro da peça. Esta liquidificação se deve a perda de calor do vapor em regiões massivas da peça e ao fato do vapor colidir com as paredes da cavidade em regiões onde não existem peneiras. A umidade residual é intrínseca ao processo de fabricação do EPS e indesejável na maior parte das aplicações, portanto devem se criar métodos de detecção e posteriormente remoção desta umidade. Usualmente a umidade residual é removida em processos de estufa, sendo o tempo de estufagem determinado pelo percentual de umidade das peças.

Segundo as instruções de trabalho padronizadas da empresa onde se realizou o estudo, o percentual de umidade residual absoluta, que pode ser definido como uma proporção de massa de água em relação à massa nominal da peça seca. Para o segmento de linha branca, por exemplo, admite-se umidade residual máxima de 5% em termos de massa (TERMOTÉCNICA, 2020).

Segundo Fang e Hanna (2001), as espumas são materiais muito susceptíveis a variação nas propriedades mecânicas em função da umidade, das quais podemos destacar a compressibilidade e o módulo Young. O estudo realizado por Fang e Hanna (2001) em espumas à base de amido, por exemplo, demonstra uma forte tendência de aumento da resistência à compressão, com o aumento do percentual de umidade.

Apesar do relato de Fang e Hanna (2001), de modo geral, observa-se que em polímeros a base de petróleo, a água age como um plastificante, tendendo a diminuir o número de ligações covalentes entre as moléculas, e conseqüentemente reduzindo a resistência do material (MANO; MENDES, 1999).

1.2 Características térmicas e mecânicas exigíveis para o EPS

Conforme Garcia (2000), existem duas finalidades importantes para a execução de ensaios mecânicos em materiais, uma das finalidades é obter informações relacionadas à caracterização de novos materiais e geralmente essa finalidade está relacionada ao desenvolvimento de novas técnicas para mudar as suas propriedades do material em uma determinada aplicação.

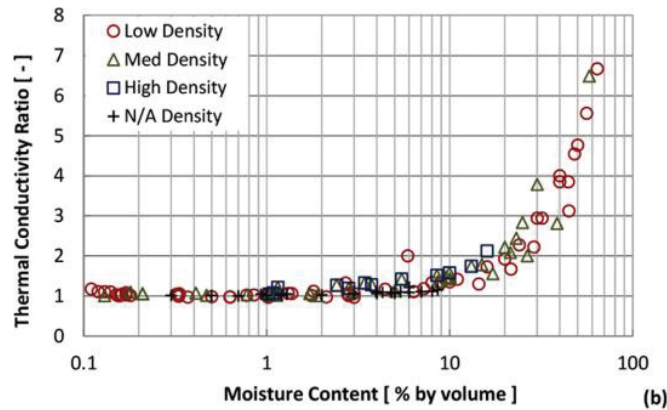
Outra finalidade é obter informações rotineiras do produto, em inspeções de qualidade, no recebimento de materiais dos fornecedores ou ao longo de um processo produtivo, por exemplo (GARCIA, 2000).

A partir das documentações realizadas nos testes de qualidade na empresa onde foi realizado o estudo, observa-se que o comportamento térmico e mecânico das peças de EPS são alterados em função de algumas variáveis do processo, tais como: granulometria injetada (diâmetro das pérolas que define o tipo de matéria prima), tempo de maturação, massa específica aparente (MEA), uso de aditivos antimicrobianos, retardantes a chama, corantes, entre outros (TERMOTÉCNICA, 2020).

Devido à vasta aplicação do EPS em barreiras térmicas, os valores típicos de condutividade térmica deste material são bastante difundidos. Segundo o estudo realizado por Cai et al. (2017), além da forte correlação entre a resistência mecânica e a densidade, também

pode-se observar variações da condutividade térmica do EPS em função do percentual de umidade, conforme apresentado na figura 2.

Figura 2 – Variação da condutividade térmica do EPS em função da umidade



Fonte: CAI et al. (2017).

Com relação às propriedades mecânicas deste material, o quadro 1 apresenta os métodos de ensaio e as características exigíveis para a utilização do EPS em processos industriais, conforme determinado pela norma ABNT 11752 (2016)

Quadro 1 – Características exigíveis para o EPS – Métodos de ensaio

Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Características				
			10	29	48	78	88
Massa específica aparente	DIN EN 845	Kg/m ³	10	29	48	78	88
Modulo de elasticidade	DIN EN 826	MPa	3-5	7-10	48-74	63-106	95-122
Resistência à compressão	DIN EM 826	kPa	35	173	414	727	800
Poisson padrão	DIN EM 826	%	0,3				
Permeância máxima ao vapor	ASTM E96	Ng/Pa.s.m ²	345	143	-	-	-
Absorção máxima de água	ASTM C272	%	6	2	2	2	2
Resistência mínima a flexão	ASTM C203	kPa	50	345	517	-	-

Fonte: Adaptado de ABNT 11752 (2016).

Nas peças de EPS para aplicação em linha branca, devido à natureza dos esforços nas bases e tampos serem predominantemente compressão simples na condição de empilhamento e absorção de impactos durante o transporte, uma das características mais relevantes é a resistência à compressão, e para tal habitualmente se utiliza o método de ensaio de compressão proposto na norma DIN EN 826 (2013), embora existam outros métodos de ensaios menos difundidos.

1.3 Correlações entre teor de umidade e grandezas mecânicas

A prática de correlacionar o teor de umidade com grandezas mecânicas não é usual nas análises em polímeros, principalmente devido a baixa concentração de umidade de modo

geral, entretanto, existem referências na literatura correlacionando o comportamento mecânico de diversos materiais, tais como fibras, com o seu teor de umidade como, por exemplo, nas aplicações estruturais com madeiras.

As curvas propostas por Longsdon (1998) referentes à influência da umidade na madeira podem ser analisadas nos anexos. A figura no anexo 3(a) apresenta as curvas de resistência à compressão paralela as fibras em função do teor de umidade (%) em uma amostra de madeira do tipo *Pinus Caribea*, enquanto a figura no anexo 3(b) apresenta curvas referentes a variação na densidade aparente em função do teor de umidade (%) para amostras de madeira do mesmo tipo.

Ainda de acordo com Longsdon, a madeira pode ser classificada como um material higroscópico, ou seja, que possuem a propriedade de absorver água. Usualmente se avalia a influência da umidade nas grandezas mecânicas através de ensaios mecânicos e, se necessário, são feitas correções nos valores de referência tabelados para a tensão de compressão, tração, cisalhamento e módulo de elasticidade, a partir da umidade medida experimentalmente nas amostras (Longsdon, 1998).

Embora seja bastante difundido o conceito de que o teor de umidade de um material influencia em sua condutividade elétrica, não foram encontradas referências correlacionando diretamente a grandeza física de condutividade (ou resistividade) elétrica com uma grandeza de resistência mecânica para o EPS.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho está dividida em duas seções:

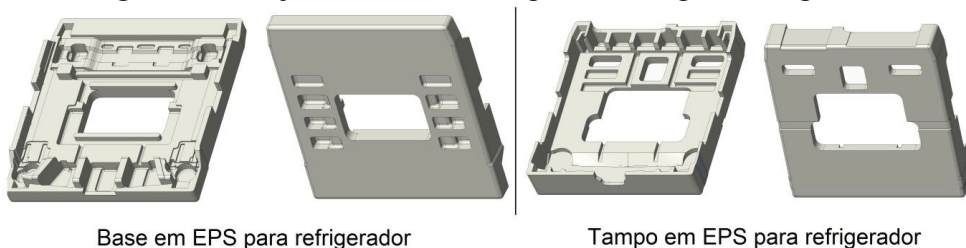
Seção 1: Obtenção das curvas de absorção e perda de umidade (curvas de saturação) em peças moldadas de EPS na condição inteira, sem recortes de corpos prova, para definição da janela de ensaio e levantamento das condições a serem utilizadas na segunda seção do experimento.

Seção 2: Ensaio de resistência mecânica a compressão e aferição da resistência elétrica em corpos de prova recortados a partir de peças inteiras, normatizados e obtidos sob as mesmas condições. Nesta parte do experimento foi realizada a análise de 16 amostras, com diferentes tempos de estufagem. Cada uma das amostras é composta por três corpos de prova (CPs), totalizando 48 corpos de prova analisados.

2.1 Obtenção das curvas de absorção e perda de umidade em peças inteiras

Para a realização deste trabalho, selecionou-se um modelo de Base e um Tampo em EPS. Estas peças foram selecionadas devido ao fato da geometria destas peças apresentarem regiões suficientemente massivas, possibilitando a extração dos corpos de prova utilizados na segunda seção do experimento. Um esquema das peças utilizadas no estudo é ilustrado na Figura 3:

Figura 3 – Conjunto de base e tampo em EPS para refrigerador



Este conceito de base e tampo é comumente utilizado em embalagens de produtos da linha branca em refrigeradores e freezers verticais. Cabe ressaltar que as cantoneiras que fazem parte do conjunto de embalagem não foram analisadas no estudo, pois são fabricadas a partir de um molde diferente, e desta forma, não há como garantir que as peças seriam extraídas exatamente nas mesmas condições, pois o tempo ciclo e o volume das peças são consideravelmente diferentes.

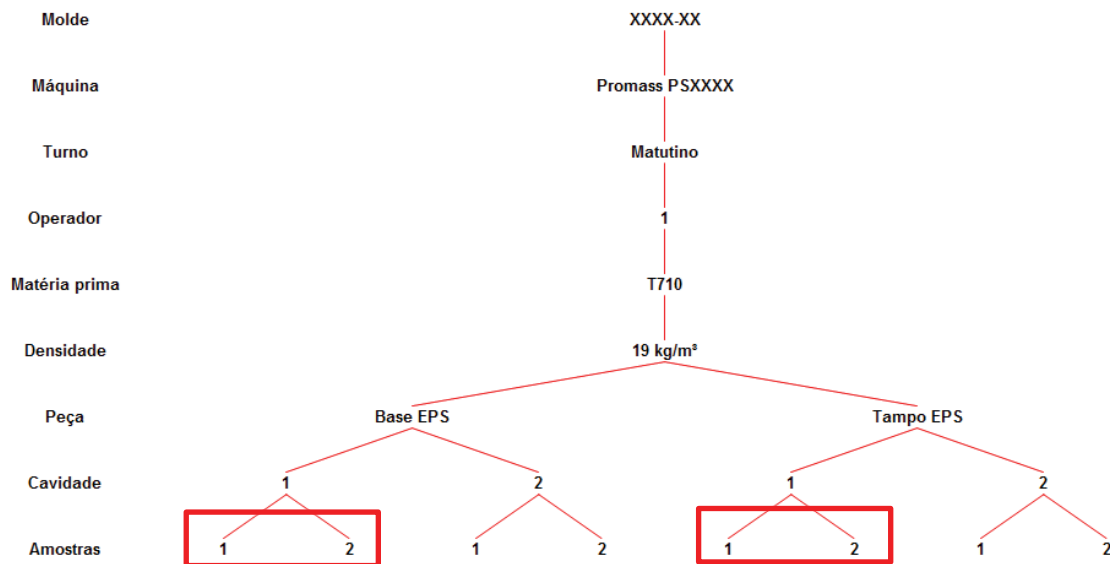
As bases e tampos de EPS foram injetados com MEA 19 kg/m³ em um molde conjugado, ou seja, um molde que produz ambas as peças no mesmo ciclo, compartilhando o mesmo silo de matéria prima.

O molde selecionado possui quatro cavidades, sendo duas cavidades com a geometria da base, e duas cavidades com a geometria do tampo. Devido à forma construtiva do molde não é possível “desligar” nenhuma das cavidades, ou seja, cada ciclo deste molde necessariamente sempre produzirá as quatro peças para qual foi projetado (base 01, base 02, tampo 01 e tampo 02).

Embora o molde sempre produza peças de cavidades 01 e 02, para estes estudos foram coletadas apenas peças produzidas nas cavidades 01, sob as mesmas condições de máquina, matéria prima, turno e operador. As peças produzidas nas cavidades 02 foram desconsideradas, de modo a garantir que as amostras estejam sendo produzidas sempre sob as mesmas condições, eliminando assim a influência das variações de temperatura em cada uma das regiões do molde, devido à trajetória das serpentinas do sistema de resfriamento do molde, assim como as influências posicionamento das peneiras em cada uma das cavidades.

A figura 4 apresenta o fluxograma utilizado para a obtenção das peças nesta parte do experimento:

Figura 4 – Fluxograma relativo às etapas de obtenção das amostras iniciais



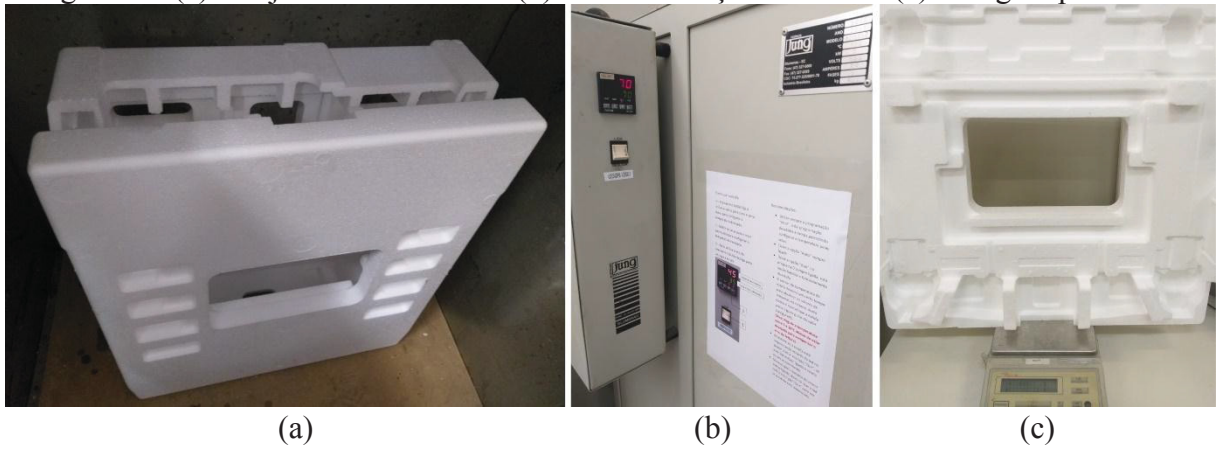
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

As peças passaram inicialmente por uma inspeção dimensional e de massa, para assegurar que as cotas de controle estejam dentro das tolerâncias de fabricação. Essa inspeção foi realizada seguindo a classe C da norma ABNT NBR ISO 2768 (2001) – Tolerâncias gerais para dimensões lineares e angulares.

Em seguida, as amostras foram identificadas utilizando um carimbo datador e pesadas individualmente. O primeiro conjunto de base e tampo foi colocado em uma estufa a

70° C por 24 h para a remoção da umidade residual. Ambas as peças foram novamente pesadas após a perda de umidade. Na figura 5, observam-se as peças na estufa:

Figura 5 – (a) Conjunto 01 em estufa (b) Parametrização a 70° C e (c) Pesagem pós estufa

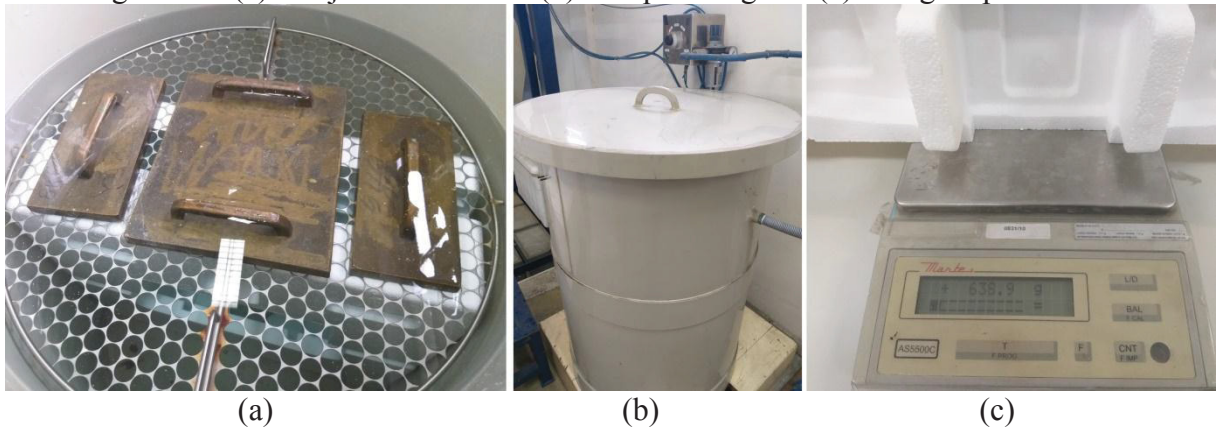


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Enquanto as peças do conjunto 01 passavam pelo processo de perda de umidade, o segundo conjunto foi submerso em um tanque, por 24h de forma a absorver umidade até o ponto de saturação. Assim como no primeiro conjunto, as peças foram pesadas após a retirada do tanque.

Na figura 6, é possível observar o segundo conjunto de peças, no tanque de água:

Figura 6 – (a) Conjunto 02 imerso (b) Tanque de água e (c) Pesagem pós imersão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Depois de anotadas as massas secas e úmidas, fez-se uma inversão das peças, de modo a submergir o conjunto 01 (seco) no tanque de água e colocar o conjunto 02 (úmido) na estufa.

Para ambos os casos, as amostras foram retiradas da estufa e do tanque e pesadas novamente a cada 30 minutos, observando-se as variações percentuais de massa a cada pesagem, e devolvidas as suas respectivas condições.

Estabeleceu-se como critério para determinar que as peças encontram-se totalmente secas e totalmente úmidas quando a variação percentual de massa entre uma pesagem e outra fosse inferior a 0,5% em um intervalo de 30 minutos.

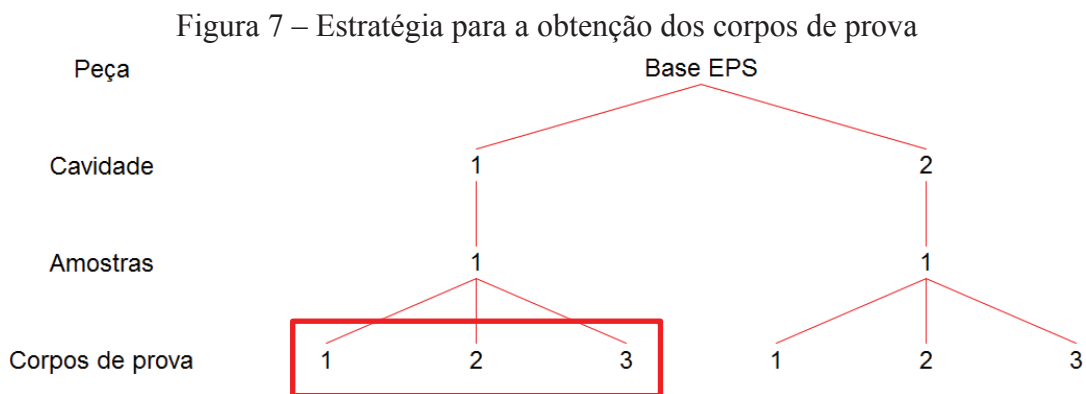
2.2 Ensaios em CP's normatizados

Utilizado o mesmo molde e os mesmos parâmetros de produção da primeira parte do experimento, coletou-se um novo lote de peças.

Nesta análise, na segunda seção do experimento, foram utilizadas apenas as bases de EPS extraídas da cavidade 01, pelas mesmas razões apresentadas anteriormente, as peças produzidas nas demais cavidades do molde foram desconsideradas para garantir que o estudo fosse realizado em peças sob as mesmas condições.

Produziram-se 16 amostras, sendo cada uma destas amostras composta por três corpos de prova recortados a fio quente, um por peça. Para esta etapa foi utilizado um lote de 48 peças produzidas.

Na figura 7 é apresentada um fluxograma evidenciando as etapas para a obtenção das 16 amostras de corpos de prova normatizados, totalizando 48 corpos de prova.

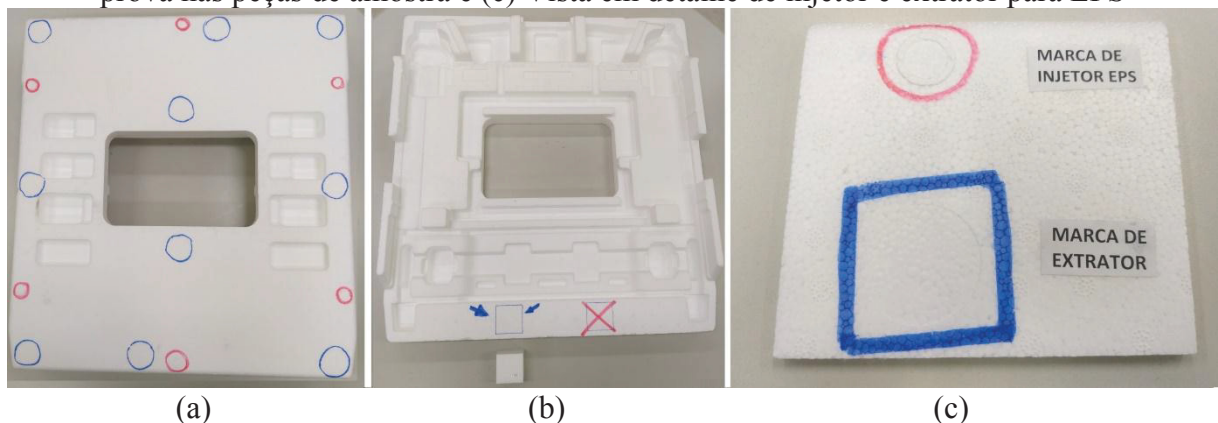


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Para o recorte dos CPs foi necessário delimitar uma região suficientemente massiva nas peças e longe das marcas de injetores e extratores, para evitar variações pontuais de densidade provocadas por recalques (adensamento da matéria prima em regiões específicas), contemplando a norma DIN EN 826 (2013) que é aplicável para a determinação do comportamento à compressão em espumas duras. De acordo com esta norma, os CPs devem possuir as dimensões de 50 mm x 50 mm x 50 mm.

Na figura 8 é apresentado um detalhamento da determinação da posição para o recorte dos 48 CPs cúbicos.

Figura 8 – (a) Localização dos injetores e extratores (b) Determinação da posição do corpo de prova nas peças de amostra e (c) Vista em detalhe de injetor e extrator para EPS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Todos os CPs, depois de identificados, foram submersos no tanque de água a temperatura ambiente por 24 h, até que atingissem o ponto de saturação na absorção de umidade, conforme observado na figura 9.

Figura 9 – Corpos de prova cúbicos imersos em tanque



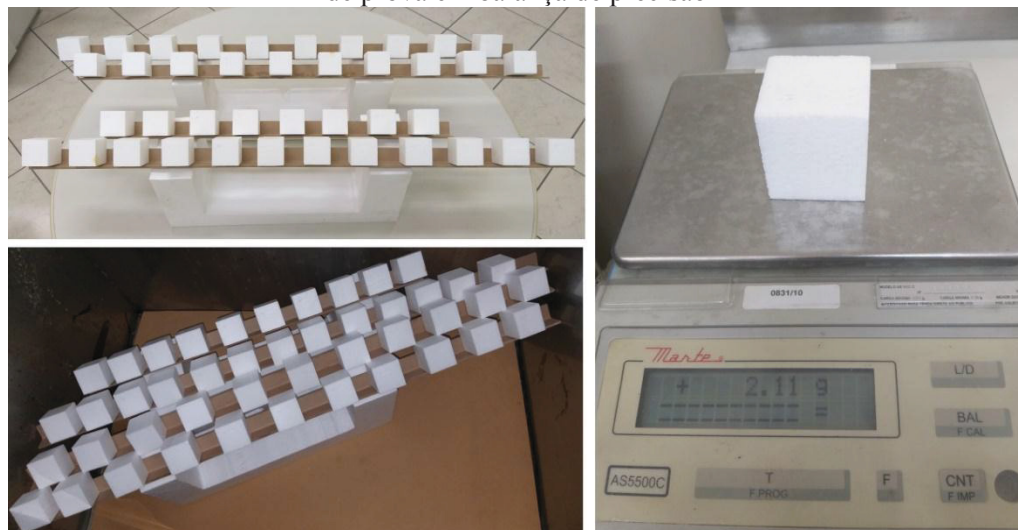
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Após o período de 24h submersos no tanque, todos os corpos de prova foram pesados utilizando uma balança com resolução de 0,01 g e transferidos para a estufa, onde se deu início ao controle de tempo de perda de umidade.

A cada intervalo de 30 minutos, foram retirados grupos com três CPs simultaneamente, correspondentes a uma amostra, até que se retirasse a última amostra com três CP's aos 450 minutos de teste. Cada amostra foi pesada e submetida ao teste de resistência elétrica e ensaio de compressão, respectivamente. Os valores foram anotados para discussão.

Na figura 10, à esquerda, pode-se observar uma imagem dos corpos de prova, dispostos na estufa em uma prateleira organizadora e a direita a massa de um CP após 450 minutos na estufa.

Figura 10 – (a) Corpos de prova dispostos em organizador na estufa e (b) Pesagem de um corpo de prova em balança de precisão



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A metodologia para a realização do teste de resistência elétrica e os ensaios de compressão para caracterização das amostras são descritas na sequência.

2.3 Testes de resistência elétrica em CP's normatizados

Identificou-se a aplicabilidade dos métodos baseados em resistência elétrica para determinar o percentual de umidade de diversas substâncias, como por exemplo, no segmento de agronegócio para determinar o teor de umidade superficial de um solo, umidade de uma determinada seção de madeira, assim como no teste de lixiviação do potássio, cálcio e magnésio (Teste de vigor para grãos), apresentado no referencial teórico. A partir destas observações, e realizando as devidas adaptações no teste de vigor para grãos, foi possível estabelecer uma metodologia para a determinação do percentual de umidade nas peças de EPS, a partir dos corpos de prova extraídos.

Não foram encontradas referências normativas para as dimensões dos CPs utilizados neste ensaio, por esta razão estabeleceu-se utilizar os mesmos corpos de prova do ensaio de compressão, contemplando a norma DIN EN 826 (2013).

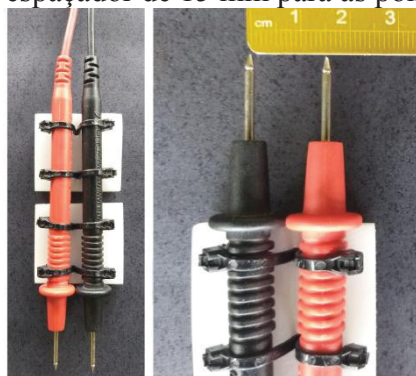
Para aferição da resistência elétrica dos corpos de prova utilizou-se como instrumentação um multímetro Minipa ET-1400 com precisão de $\pm (1,2\% + 10)$ para a escala de tensão em corrente contínua de 200V a 500 V e um megômetro BM500A com precisão de $\pm (5\% \text{ RDG} + 5)$ ambos devidamente calibrados. Além dos erros de precisão dos equipamentos de medição, existem ainda erros associados a variáveis externas, entretanto estas interferências externas foram desconsideradas.

O megômetro utilizado é capaz de aplicar três diferentes tensões de teste: 250 V, 500 V e 1000 V. Baseando-se nas informações apresentadas no manual do fabricante do megômetro, correlacionando a ordem de grandeza da resistência a ser medida com os valores recomendados para tensão de teste, foi estabelecida a tensão de teste nominal em 250 V para os ensaios com os corpos de prova normatizados.

No início do teste, para as escalas de tensão de teste nominais de 250 V e 500 V no megômetro, observaram-se respectivamente 267 V e 490 V.

A figura 11 apresenta uma imagem evidenciando os espaçadores de Polietileno de alta densidade (PEAD) utilizados nos testes com os corpos de prova. Foram confeccionados dois espaçadores para garantir que as ponteiros permanecessem relativamente paralelas entre si, a uma distância de 15 mm.

Figura 11 – Suporte espaçador de 15 mm para as ponteiros do Megômetro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Nos testes em todos os corpos de prova de EPS, as ponteiros foram inseridas sempre perpendiculares à face do corpo de prova e centralizadas, aplicando-se a tensão de teste (250V nominal) por um período de 3 segundos para cada corpo de prova. Os valores de resistência elétrica foram anotados.

Recorrendo a lei de Ohm, temos que a resistência elétrica – R, aferida entre dois pontos é uma resultante da resistividade - ρ (característica do material), do comprimento da

amostra - ℓ (em m) e da área da seção reta da amostra - A (em m^2), conforme apresentado na equação 1.

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A} \quad (1)$$

Desta forma, podemos reescrever a equação, isolando a resistividade e substituindo os valores para cada uma das amostras, obtendo a equação 2.

$$\rho[\Omega \cdot m] = R[\Omega] \cdot \frac{A[m^2]}{\ell[m]} = R \cdot \frac{0,0025[m^2]}{0,015[m]} = \frac{R}{6} [\Omega \cdot m] \quad (2)$$

Com os valores de resistência anotados e aplicando a equação acima, plotou-se uma curva de resistividade elétrica em função da umidade absoluta, previamente calculada. Esta curva é apresentada na seção de resultados. Os valores de resistência elétrica coletados estão diretamente relacionados com o objetivo deste trabalho.

2.4 Ensaios de compressão em CP's normatizados

Devido à natureza dos esforços sofridos pelas bases e tampos de EPS, comumente utilizados em embalagens de refrigeradores para compor pilhas de produtos com até cinco níveis de empilhamento, é pertinente analisar o comportamento do material a compressão pura com diferentes condições de umidade, para avaliar se a variação no percentual de umidade implica em variação na tensão de compressão especificada para o material, e utilizada em projetos.

O ensaio de compressão em seção quadrada foi realizado para determinar a resistência do material à compressão pura, contemplando a norma DIN EN 826 (2013), aplicável para determinação do comportamento à compressão de espumas duras.

Os 48 corpos de prova cúbicos de EPS com 50 mm de aresta foram ensaiados utilizando os seguintes parâmetros:

- Velocidade de ensaio: 1 mm/min
- Limite de deformação compressiva: 8,75 mm (17,5%)

Na figura 12 (a), observa-se a máquina universal de ensaios mecânicos, modelo Emic DL2000, equipada com uma célula de carga TRD 23 que foi utilizada neste ensaio, juntamente com os acessórios montados para compressão, enquanto na figura 12 (b) observa-se a diferença de altura provocada pela deformação permanente de um corpo de prova nas condições apresentadas, em relação a um corpo ainda não ensaiado.

Figura 12 – (a) Conjunto montado para ensaio de compressão em CPs cúbico e (b) Deformação permanente pós-ensaio de compressão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A coleta dos valores de força, tensão e módulo de elasticidade ocorreu no ponto da curva onde a deformação específica é igual a 10% da altura inicial do CP, aos 5 mm de deformação, e a condição de término do teste estabelece uma deformação de 17,5% em relação a altura inicial do CP, atendendo as exigências da norma ABNT 11752 (2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a execução deste trabalho são apresentados em duas seções:

Seção 1: Apresentação das curvas de absorção e perda de umidade nas peças moldadas em EPS na condição “inteira” e discussões referentes à primeira parte do experimento.

Seção 2: Gráficos e discussões sobre os ensaios mecânicos e os testes de resistência elétrica realizados nos CPs utilizados na segunda seção do experimento, sob as mesmas condições.

3.1 Curvas de absorção e perda de umidade em peças inteiras

Foram necessárias 11 pesagens para que a variação percentual de umidade fosse inferior a 0,5% nas peças submersas no tanque, enquanto foram necessárias 15 pesagens para as peças na estufa satisfazerem a mesma condição.

Os valores anotados foram utilizados para construir duas curvas, uma curva de perda de umidade a partir de peças úmidas e outra representando o ganho de umidade a partir de peças secas, que serão apresentadas nos resultados.

Com base na análise destas curvas, e em função da quantidade de pesagens necessárias para que a condição de variação de massa inferior a 0,5% entre pesagens fosse satisfeita, optou-se por dar sequência à segunda seção do experimento utilizando as 16 amostras na condição “úmidas”, uma vez que a estufa demora mais tempo para remover umidade das peças do que a variação de umidade provocada no tanque, para o mesmo período, assim uma janela de experimento maior poderia ser analisada.

Para aumentar a confiabilidade do estudo, cada uma destas amostras é composta por três corpos de prova, com incrementos de 30 minutos no tempo de estufa entre uma amostra e outra, ou seja, a primeira amostra com tempo de estufa igual a zero, e as demais com 30 minutos, 60 minutos, 90 minutos e assim sucessivamente até 450 minutos de estufagem.

O quadro 2 apresenta os valores de massa anotados em frente à máquina e as massas observadas nas amostras em condições secas e úmidas.

O termo ‘Massa em frente à máquina’ refere-se a uma das variáveis de controle no processo padrão de injeção de EPS.

Coloquialmente a massa em frente à máquina representa massa aferida nas peças imediatamente após o processo de injeção, e pode ser caracterizada como a massa teórica das peças, somada as variações de densidade observadas na matéria prima e ao percentual de umidade absoluto intrínseco ao processo de moldagem, sem nenhum tratamento, ou seja, antes dos processos de remoção ou absorção de umidade, respectivamente.

A partir do quadro 2, observa-se que ocorreu uma variação significativa de massa, quando comparados os valores de massa seca e massa úmida, independentemente do cenário analisado (perda de umidade a partir de peças úmidas e ganho de umidade a partir de peças secas).

Quadro 2 – Comparativo da variação de massa em peças inteiras

Perda de umidade a partir de peças úmidas			
Identificação da Peça	Massa em frente à máquina	Massa úmida	Massa Seca
Base - Em estufa	388 (g)	590 (g)	396 (g)
Tampo - Em estufa	246 (g)	367 (g)	255 (g)

Ganho de umidade a partir de peças secas			
Identificação da Peça	Massa em frente à máquina	Massa Seca	Massa Úmida
Base - Em tanque d'água	384 (g)	391 (g)	580 (g)
Tampo - Em tanque d'água	240 (g)	252 (g)	362 (g)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

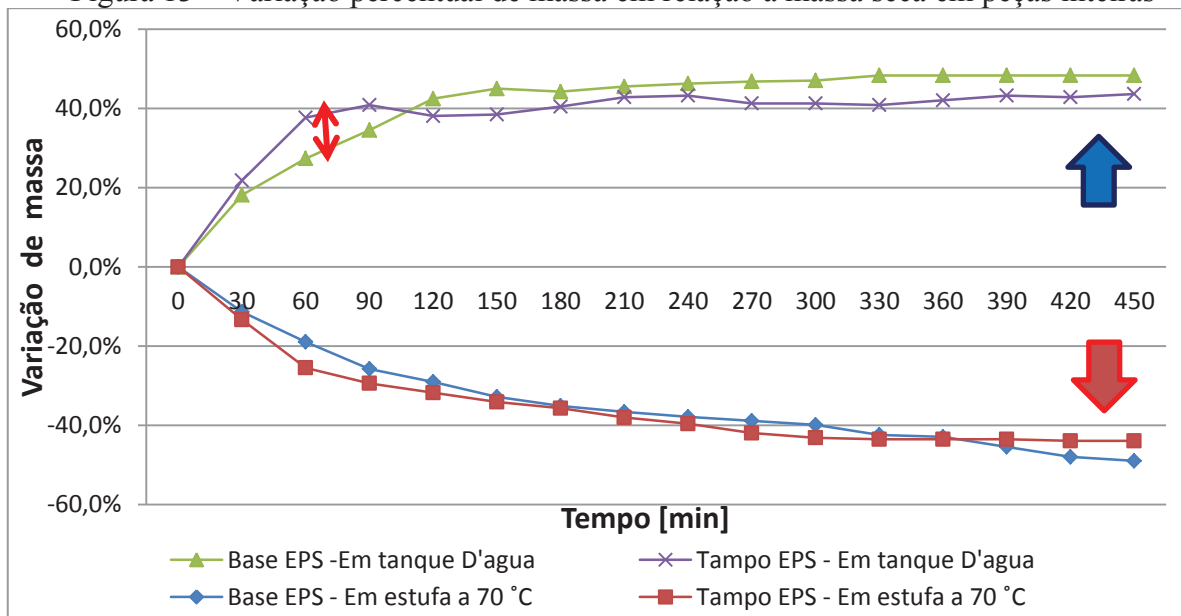
Em ambos os cenários desta primeira parte do experimento, os valores de massa seca foram muito próximos. O mesmo ocorreu com os valores de massa úmida, confirmando a hipótese levantada inicialmente, que às 24 h de teste na estufa e no tanque de água seriam suficientemente grandes para provocar saturação das peças nas condições seca/úmida.

A equação 3 permite calcular a variação de massa nas peças em relação a massa da peça seca. Utiliza-se o sinal positivo para representar o acúmulo de umidade e o sinal negativo para representar a perda de umidade:

$$\text{Variação de massa (\%)} = \pm \left(\frac{\text{Massa instantânea} - \text{Massa seca}}{\text{Massa seca}} - 1 \right) * 100 \quad (3)$$

Aplicando a equação acima para todos os pontos de massa instantânea coletados na primeira parte experimento, obtemos as curvas de absorção e perda de umidade percentual, com intervalos de 30 minutos entre amostras, conforme apresentado na figura 13.

Figura 13 – Variação percentual de massa em relação à massa seca em peças inteiras



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Analisando a figura 13, notam-se pelas últimas amostras coletadas, que as massas em ambos os cenários vem se estabilizando ponto a ponto, à medida que se se aproximam dos 450 minutos de teste. Pressupõe-se que a diferença na inclinação das curvas de absorção de umidade (indicadas pela seta dupla nas curvas da parte de cima do gráfico) está relacionada

com a diferença na proporção de área superficial e massa das duas peças, como as bases de EPS analisadas são mais massivas em relação aos tampos, é esperado que elas demorem mais tempo para atingir o nível de saturação na absorção de umidade. Em adicional, as medições também são susceptíveis a influências externas decorrentes do local onde as medições são realizadas, temperatura ambiente e umidade do ar, entre outras.

A variação de massa devido à variação de umidade das bases foi em torno de 48%, enquanto a variação de massa nos tampos foi de 43% em média. As influências externas mencionadas anteriormente foram desconsideradas neste estudo.

Nota-se que as massas das amostras tendem a convergir para os valores de massa seca e massa úmida. Desta forma, pode-se concluir que o período de 24 h foi suficientemente longo para que as amostras saíssem de um regime transitório para um regime permanente, possibilitando obter amostras saturadas em condições “secas” (com umidade residual nula) e “úmidas” (com umidade residual máxima). Observou-se também que o total de 16 amostras foi adequado para representar a variação na absorção e perda de umidade.

Observa-se ainda, que a variação percentual de umidade nas peças que estavam submersas no tanque de água (representadas pela seta azul) é mais acentuada nos primeiros 120 minutos, mantendo-se praticamente constante até o final do teste, enquanto a retirada de umidade das peças na estufa (representadas pela seta vermelha) é mais lenta e gradual até o fim do teste.

Por esta razão, com base nas análises destas curvas e nos resultados discutidos, definiram-se para a segunda seção do experimento manter a quantidade de 16 amostras com intervalo de 30 minutos entre amostras e avaliar os CPs no processo de secagem em estufa a partir de peças úmidas, para garantir que a janela amostral seria maior. Este resultado era esperado, uma vez que a velocidade de absorção de umidade das peças no tanque ocorre de forma muito mais rápida do que a taxa de remoção de umidade nas peças em estufa.

3.2 Curvas dos ensaios em corpos de prova normatizados

O quadro 3 apresenta os valores de massa coletados nas pesagens realizadas nos 48 CPs cúbicos de 50x50x50 mm.

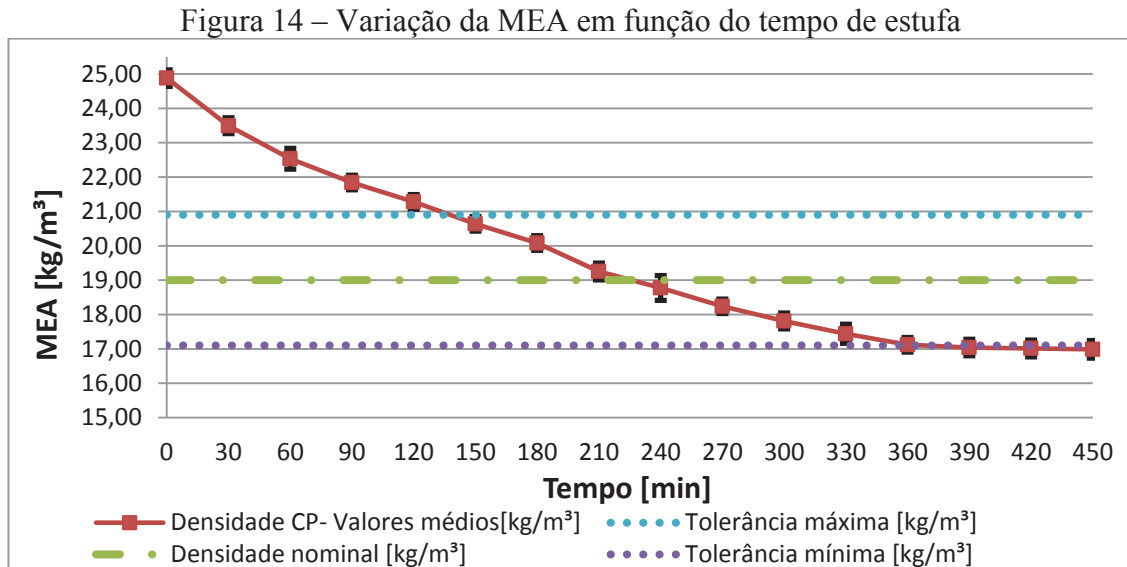
Quadro 3 – Valores de massa coletados com intervalos de 30 minutos

T (min)	0	30	60	90	120	150	180	210
P1 (g)	3,14	2,97	2,86	2,75	2,67	2,60	2,54	2,44
P2(g)	3,08	2,92	2,80	2,74	2,68	2,59	2,50	2,40
P3(g)	3,11	2,92	2,79	2,70	2,63	2,55	2,49	2,38
Média (g)	3,11	2,94	2,82	2,73	2,66	2,58	2,51	2,41
Desvio padrão	0,24	0,23	0,30	0,21	0,21	0,21	0,21	0,24

T (min)	240	270	300	330	360	390	420	450
P1 (g)	2,39	2,29	2,21	2,16	2,16	2,16	2,12	2,11
P2 (g)	2,35	2,30	2,26	2,16	2,15	2,13	2,10	2,16
P3 (g)	2,30	2,25	2,21	2,22	2,11	2,10	2,16	2,10
Média (g)	2,35	2,28	2,23	2,18	2,14	2,13	2,13	2,12
Desvio padrão	0,36	0,21	0,23	0,28	0,21	0,24	0,24	0,26

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Com base nestes valores, e atendendo a norma ABNT 11949 (2007) – Determinação da massa específica aparente (MEA) para Poliestireno Expandido, plotou-se a variação de MEA em função do tempo de estufa, apresentada na figura 14, onde a curva em vermelho evidencia a MEA média dos três CPs analisados em cada amostra, a linha tracejada em verde representa a densidade nominal das peças e as duas linhas pontilhadas representam as tolerâncias admissíveis, em conformidade com a norma ABNT 11949 (2007).

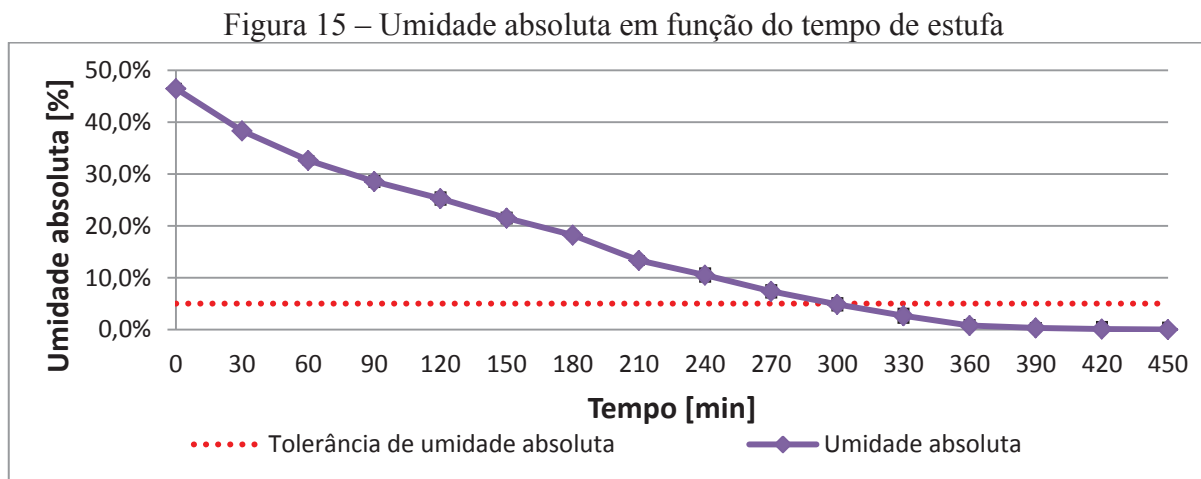


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Conforme observado na figura 14, na condição totalmente úmida, os CPs atingiram a MEA máxima de 25 kg/m³. Foram necessários 150 minutos de estufagem para que a MEA dos corpos de prova entrassem na tolerância máxima. As MEAs médias permaneceram dentro da tolerância até a amostra coletada aos 360 minutos de estufa, a partir deste ponto o desvio em relação a nominal foi superior a 10%.

Desconsiderando a massa dos gases que foi perdida na estufa, e assumindo por hipótese, que massa sólida de poliestireno expandido manteve-se constante nas condições de teste na estufa, podemos relacioná-la à variação de massa diretamente com a perda de umidade.

Utilizando a equação 3, apresentada na primeira parte da metodologia, obtemos a curva de umidade absoluta, apresentada na figura 15.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os demais resultados serão apresentados em função deste percentual de umidade absoluta, uma vez que o tempo de estufa representa apenas uma condição de teste, enquanto a umidade absoluta é um parâmetro que pode ser generalizado a outras peças moldadas em diferentes condições de teste.

A partir da realização do teste de resistência elétrica em corpos de prova normatizados, proposto na seção 2.3 da metodologia, posteriormente foram calculados os valores de resistividade elétrica dos CPs.

No quadro 4 são apresentados todos os valores de resistência elétrica aferidos.

Quadro 4 – Valores de resistência elétrica coletados a cada 30 minutos

T (min)	0	30	60	90	120	150	180	210
R1 (MΩ)	26,8	65,1	94,2	115,9	134,9	144,6	163,4	176,1
R2 (MΩ)	27,1	65,7	95,3	114,7	135,4	146,7	163,7	172,2
R3 (MΩ)	27,4	66,8	94,6	116,8	136,3	147,6	164,9	174,7
Média (MΩ)	27,1	65,9	94,7	115,8	135,5	146,3	164,0	174,3
Desvio padrão	0,30	0,86	0,55	1,05	0,70	1,53	0,79	1,97

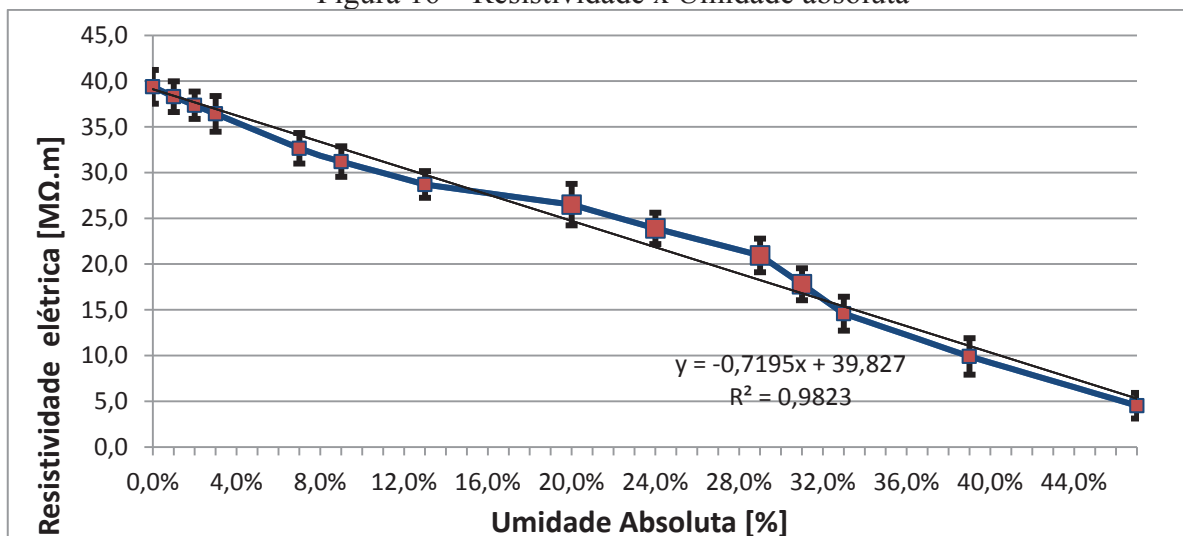
T (min)	240	270	300	330	360	390	420	450
R1 (MΩ)	185,5	196,6	207,1	216,6	225,5	236,0	245,0	253,3
R2 (MΩ)	184,5	196,2	208,0	215,6	224,2	235,7	245,1	252,8
R3 (MΩ)	186,1	197,8	208,2	218,5	227,1	237,1	246,2	254,0
Média (MΩ)	185,4	196,9	207,8	216,9	225,6	236,3	245,4	253,4
Desvio padrão	0,80	0,83	0,58	1,47	1,45	0,73	0,66	0,60

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Observa-se que o valor médio de resistência elétrica é menor nas amostras úmidas (mais condutoras de eletricidade), e aumenta gradativamente à medida que as amostras perdem umidade.

Após aplicada a relação desenvolvida na metodologia a partir da lei de Ohm plotou-se um gráfico de resistividade elétrica em função da umidade absoluta, observado na figura 16. Neste gráfico, a linha azul representa os valores médios calculados de resistividade.

Figura 16 – Resistividade x Umidade absoluta



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Conforme apresentado na seção de referencial teórico, é bastante difundido o conceito de que o teor de umidade influencia diretamente na resistividade (e condutividade) de um material, entretanto não foram encontradas referências desta relação para o EPS, de modo a confrontar com os valores obtidos.

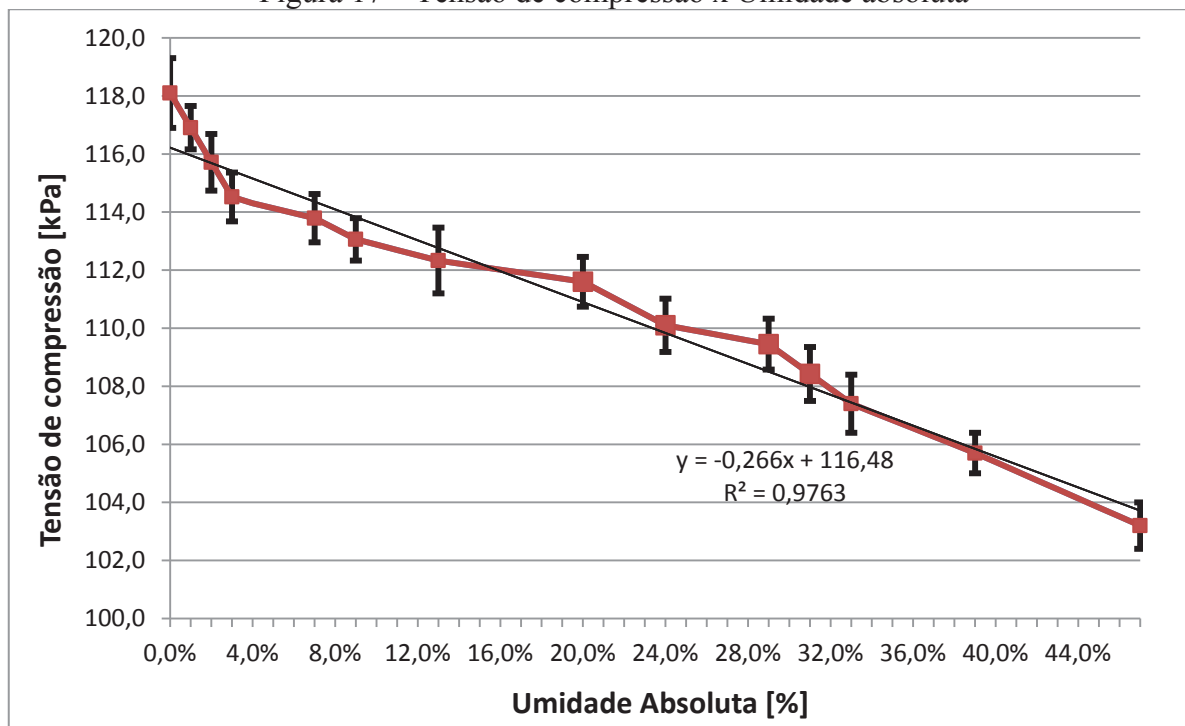
A partir da linha de tendência da figura 14, descrita também na equação 4, substituindo a variável x pela umidade (u) e y pela resistividade (ρ), e isolando a umidade absoluta, após simplificações, obtemos uma equação linear (equação 5) que aproxima o percentual de umidade pela resistividade elétrica calculada nos CPs:

$$\rho[M\Omega.m] = -0,7195 u[\%] + 39,827 \quad (4)$$

$$u[\%] = 55,353 - \frac{\rho[M\Omega.m]}{0,7195} \quad (5)$$

Após a execução dos ensaios de compressão em corpos de prova normatizados, apresentado na seção 2.4 da metodologia, foi possível plotar uma curva a partir dos pontos com os valores médios de tensão de compressão com deformação a 10%, conforme ilustrado na figura 17, entretanto convém ressaltar que os corpos de prova haviam sido previamente furados para a realização da aferição de resistividade elétrica, por esta razão, pressupõe-se que a resistência à compressão sofreu um desvio em relação aos valores reais. Este desvio no comportamento mecânico não foi medido.

Figura 17 – Tensão de compressão x Umidade absoluta



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Conforme comentado na seção de referencial teórico, este tipo de correlação entre uma grandeza mecânica e o teor de umidade absoluta apresentada na figura 17 é amplamente difundida nas análises de diversos materiais higroscópicos.

Repetindo as operações algébricas realizadas para a obtenção da equação 5, substituindo os valores de x e y na linha de tendência (equação 6) pelas variáveis de umidade ($u[\%]$) e tensão de compressão (σ), e isolando a umidade absoluta, obtemos a equação 7, que

é uma equação linear alternativa para calcular a umidade absoluta em função da resistência a compressão.

$$\sigma[kPa] = -0,266 u[\%] + 116,48 \quad (6)$$

$$u[\%] = 441,65 - \frac{\sigma[kPa]}{0,266} \quad (7)$$

Desta forma, as equações 5 e 7 satisfazem a condição de igualdade:

$$u[\%] = 55,353 - \frac{\rho[M\Omega.m]}{0,7195} = 441,65 - \frac{\sigma[kPa]}{0,266} \quad (8)$$

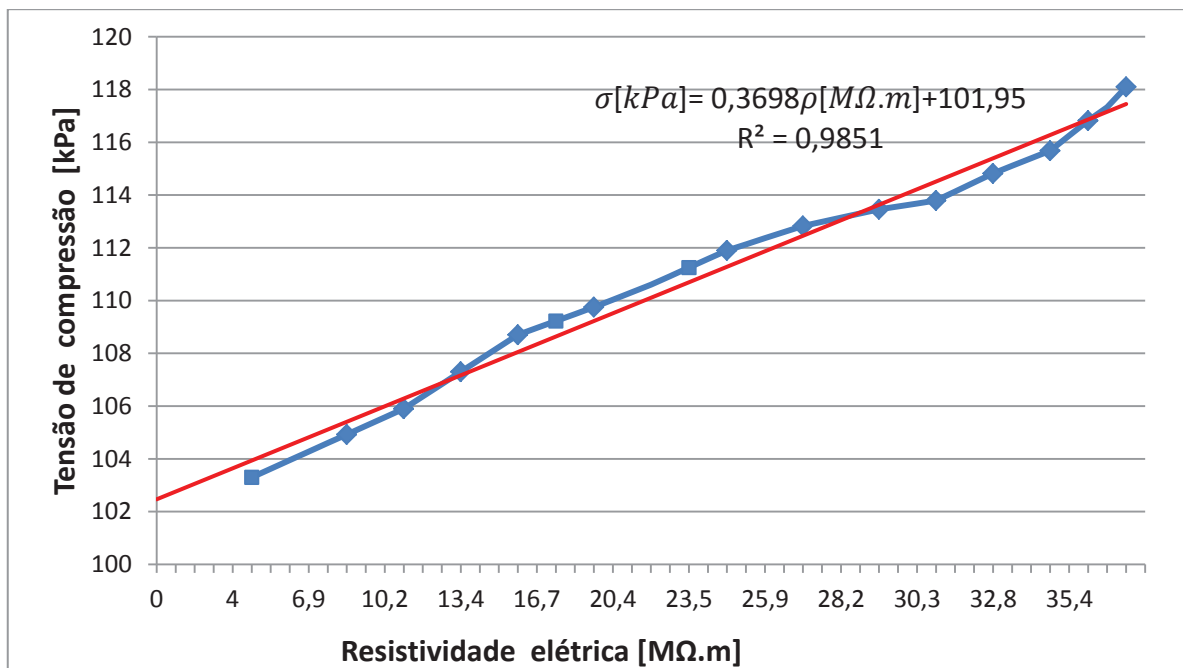
Embora ambas as equações (5 e 7) permitam calcular a umidade absoluta através de ensaios distintos, a equação 5 é mais interessante para a aplicação, pois permite calcular a umidade por um método não destrutivo, diferentemente da equação 7 que exige o recorte das peças para confecção dos corpos de prova. A obtenção de amostras recortadas, além de ser onerosa também utiliza um equipamento de difícil acesso, indisponível na área produtiva analisada.

Também é possível escrever uma equação para aproximar a resistência a compressão pela resistividade aferida, a partir da condição de igualdade apresentada na equação 8, isolando σ , após simplificações, temos:

$$\sigma[kPa] = 0,3698\rho[M\Omega.m] + 101,95 \quad (9)$$

A partir dos dados apresentados, é possível plotar um gráfico da tensão de compressão em função da resistividade elétrica dos corpos de prova, conforme apresentado na figura 18.

Figura 18 – Curva de tensão de compressão em função da resistividade elétrica calculada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A linha em vermelho plotada na figura 18 é uma linearização dos pontos e foi obtida pela equação 9, aproximando-se satisfatoriamente dos pontos na curva de tensão de compressão em função da resistividade elétrica.

Embora existam referências na literatura correlacionando o percentual de umidade com a grandeza física de condutividade térmica no EPS, conforme apresentado na revisão de literatura, não foram encontradas referências correlacionando a resistência elétrica com a tensão de compressão, conforme apresentado anteriormente na figura 18.

Dentro do intervalo analisado, o desvio padrão médio observado na aferição de tensão de compressão foi de 9,47%, enquanto no teste de compressão o desvio padrão médio foi de 0,76%. Para fins de aplicação, de forma a garantir que os resultados calculados sejam mais conservadores, é conveniente considerar uma margem de erro equivalente a soma dos erros individuais de cada teste, na ordem de 10%, de modo a compensar os desvios padrões observados na execução da metodologia.

O quadro 5 apresenta os dados relativos a caracterização das propriedades mecânicas de tensão de compressão, módulo de elasticidade e energia necessária para provocar a deformação de 10% nas amostras secas e úmidas. Estes dados foram medidos a partir do ensaio mecânico de compressão.

Quadro 5 – Comparativo de resistência mecânica entre amostras de EPS secas e úmidas

Característica	Tensão com def. 10% (kPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Energia (N.mm)
Amostra seca	117,35	4,87	1140,00
Amostra úmida	103,20	4,21	993,50

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Conforme apresentado no quadro 5, existe uma redução na resistência à compressão em peças úmidas, na ordem de 12%, em comparação com amostras secas.

Também se pode observar uma redução no módulo de elasticidade e na energia necessária para provocar a deformação nos corpos de prova úmidos.

A figura apresentada no apêndice A mostra as curvas de tensão de compressão em função da deformação percentual, onde foram sobrepostas as curvas referentes as amostras secas, com umidade relativa de 50% e úmidas, onde é possível observar uma redução na tensão de compressão a medida que os corpos de prova tornam-se mais úmidos. A deformação máxima apresentada nestas curvas corresponde a 17%, em relação à altura inicial dos corpos de prova.

4. CONSIDERAÇÃO FINAL

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo resolver o problema proposto de determinar o percentual de umidade pelo método da resistência elétrica em peças moldadas de Poliestireno expandido, com MEA 19 kg/m³.

O primeiro passo foi levantar as curvas de saturação preliminares para avaliar a variação de umidade em peças inteiras. Estas curvas preliminares permitiram obter os parâmetros para a segunda seção da metodologia.

Com a realização dos experimentos desenvolvidos na segunda seção da metodologia, o objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi atingido, ampliando o conhecimento referente ao comportamento mecânico do Poliestireno Expandido.

As premissas levantadas inicialmente foram confirmadas e o resultado geral, obtido a partir das curvas que descrevem as variações de resistividade elétrica, umidade absoluta e

tensão de compressão em corpos de prova, mostram que existe uma correlação linear entre estas três variáveis.

Foi possível encontrar duas equações que descrevem a variação percentual de umidade absoluta, sendo uma equação em função da resistividade elétrica e outra em função da resistência a compressão, entretanto identificou-se que o cálculo de umidade residual absoluta a partir da aferição de resistência elétrica é economicamente mais interessante, pois, por meio deste é possível obter resultados mais rápidos e de forma não destrutiva, utilizando instrumentação compacta.

Com os resultados obtidos é possível calcular a umidade residual absoluta das peças de forma rápida, e evitando os atuais deslocamentos desnecessários das mesmas, por meio da aferição da resistência elétrica, utilizando um megômetro digital compacto.

Também é possível fazer uma aproximação satisfatória da resistência mecânica à compressão nas peças de forma não destrutiva, embora existam erros associados a essa aproximação na ordem de 10%, o cálculo da tensão de compressão é mais rápido do que os métodos convencionais, onde um lote de peças é sacrificado para recortar os corpos de prova de compressão, reduzindo significativamente os custos de inspeção das peças.

A pesquisa é válida para caracterizar o EPS com MEA 19 kg/m³ e com matéria prima T710, sem aditivos anti inflamabilidade e antimicrobianos.

As correlações apresentadas neste trabalho são válidas para descrever apenas as condições de teste, não sendo possível determinar se o comportamento vai ser reproduzido em outras condições de teste, com amostras obtidas em configurações diferentes.

Não foram levantadas informações suficientes para determinar se é possível fazer uma extrapolação dos dados, de modo a generalizar o comportamento, ou para que se possa estimar de forma suficientemente satisfatória a tensão de compressão através de uma medida de resistência elétrica.

Novos estudos são necessários para caracterizar o Poliestireno expandido em outras MEAs e matérias primas. Também se pode avaliar a influência dos aditivos anti inflamabilidade, antimicrobianos e corantes na resistência elétrica e nas propriedades mecânicas das peças de EPS. Para tal, pode-se utilizar a mesma metodologia proposta e comparar os resultados.

Para um entendimento mais aprofundado do comportamento das grandezas elétricas no EPS em função da variação de umidade, em trabalhos futuros, sugere-se fazer a aferição de resistência elétrica em faces opostas no corpo de prova, além de explorar diferentes formas de realizar medições de resistência elétrica, como a ponte de Wheatstone ou medição de capacitância, que é fortemente dependente da umidade.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM. **Aplicações: Poliestireno Expandido**, c2014. Disponível em:

<<http://www.epsbrasil.eco.br/aplicacoes.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2020.

ABNT 2768. “Tolerâncias gerais”. Associação brasileira de normas técnicas, 2001.

ABNT 11752. “Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial”. Associação brasileira de normas técnicas, 2016.

ABNT 11949. “Poliestireno expandido – Determinação da Massa específica aparente”. Associação brasileira de normas técnicas, 2007.

BARBIERI. et al. **Teste de lixiviação de potássio para a avaliação do vigor de sementes de arroz**. Revista brasileira de sementes, volume 34, p 117-124, 2012.

CAI S. et al. **Review of moisture behavior and thermal performance of polystyrene insulation in building applications**. Building and environment, volume 123, p 50-65, 2017.

DIN EN 826. “Thermal insulating products for building applications - determination of compression behaviour”. German Institute for Standardisation. 2013.

FENG, Q. HANNA, M.A. **Mechanical properties of starch-based foams as affected by ingredient formulations and foam physical characteristics**. Americans society of agricultural engineers, volume 46, n.6, p.1715-1723, 2001.

GARCIA, A. **Ensaio dos materiais**. 2. ed. Porto Alegre: LTC, 2000.

LOGSDON, N. B. (1998). **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. São Carlos, 1998. 174p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

MANO, E.B; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2 ed. Rio de Janeiro: Edgard Blucher Ltda, 1999.

PADULA, M. et al. **PS, XPS e EPS para contato com alimentos**. São Paulo: CETEA/ITAL, 2017. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/estudos/PS_XPS_EPS_Alimentos.pdf>. Acesso em: 01 de jun. de 2020.

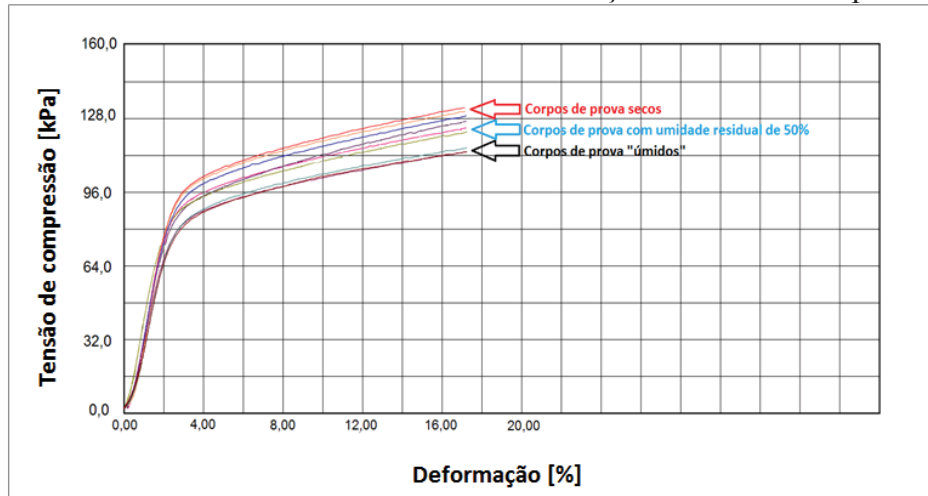
PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (Coffea arabica L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

PROMASS. **EPS Shape molding machine**, c2019. Disponível em: <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/promass-srl/promass/74700-531617-_18.html>. Acesso em: 01 de jun. de 2020.

TERMOTÉCNICA. **Sobre EPS**, c2019. Página inicial. Disponível em: <<http://www.termotecnica.ind.br/solucoes-em-eps-poliestireno-expandido/>>. Acesso em: 20 de maio de 2020.

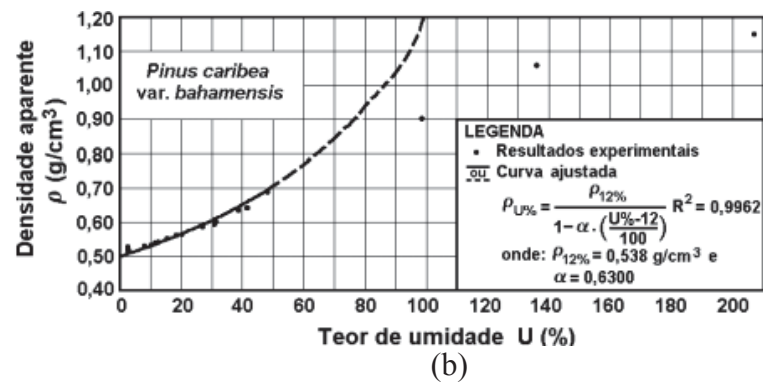
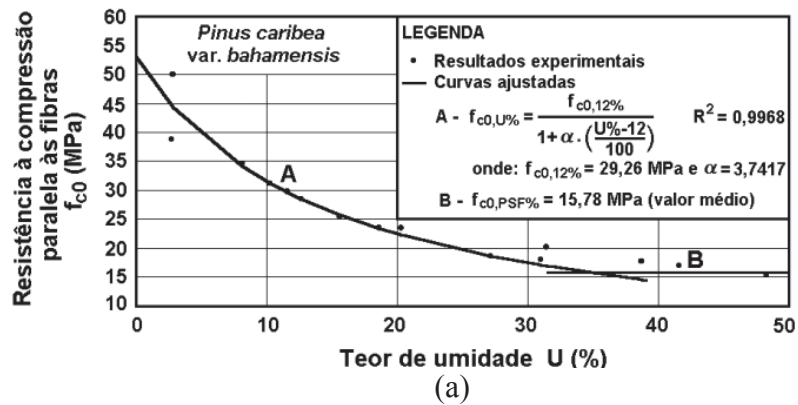
APÊNDICES

APÊNDICE A – Curvas de Tensão x deformação - Curvas sobrepostas



ANEXOS

ANEXO A - (a) Tensão de compressão x teor de umidade e (b) Curva de densidade aparente x teor de umidade em amostras de madeira do tipo Pinus Caribea



Fonte: Longsdon, 1998.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho foi possível graças à contribuição e apoio de pessoas e organizações dispostas a contribuir para a pesquisa.

Primeiramente gostaria de agradecer a Universidade Federal de Santa Catarina, ao meu orientador Dr. Gabriel Benedet Dutra, e a todos os professores da UFSC pela sua disponibilidade e dedicação no decorrer da graduação.

Ao setor de Engenharia de Produtos da empresa Termotécnica, pelo fornecimento da matéria prima para a elaboração dos corpos de prova e disponibilização do laboratório de inovação e testes de produtos para realização de todos os ensaios mecânicos.

Reconhecimento especial também aos meus pais pelo incentivo desde sempre.