

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Estudo e optimização do processo de aglomeração de revestimentos de cortiça

Tese de Mestrado

Desenvolvida no âmbito da disciplina de

Projecto de Desenvolvimento em Ambiente Empresarial

Juliana Cristine Vieira Felix

Amorim Revestimentos



Departamento de Engenharia Química

Orientador: **Fernão Domingos Magalhães (DEQ-FEUP)**

Luísa Maria Hora de Carvalho (DEMad-IPV)

Orientador na empresa: **Graça Rocha (Amorim Revestimentos)**

Julho de 2011

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a meus pais, Moacir Felix Sobrinho e Maria Beatriz Vieira Felix, pelo apoio, compreensão e pleno incentivo a realização do meu projecto de mobilidade internacional, à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade de ter realizado este intercâmbio.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Fernão Domingos Magalhães, pela supervisão e orientação no estágio, à Professora Doutora Luísa Maria Hora de Carvalho e Professor Doutor Jorge Martins de Carvalho pelos ensinamentos adquiridos e pela orientação a esse projecto.

À minha orientadora empresarial do Grupo Amorim Revestimentos, Engenheira Graça Rocha e ao Engenheiro Luís Alves, pelos conhecimentos a nível industrial do processo de aglomeração de revestimentos de cortiça e por todo o suporte necessário para a realização do meu projecto. Aos funcionários do laboratório da Amorim Revestimentos, Victor Costa, Maribel, Sérgio, Mário Coutinho, Mário Santos e Mário Rodrigues pela atenção, amizade e colaboração. A todos os funcionários da Amorim Revestimentos agradeço imenso.

Aos colegas de laboratório da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pelo apoio e pela amizade. Aos amigos do intercâmbio, Renata, Rodrigo Teodoro, Rodrigo Lira, Nathália Tavares, Rosiane, Cássio, Beбето e Larissa pelos ótimos momentos durante a minha estadia em Portugal, obrigada por serem uma família e me proporcionarem todo o apoio, incentivo e profunda amizade.

Resumo

A cortiça é um material cujas aplicações são conhecidas desde a Antiguidade, algumas delas, desde logo relacionadas com a construção, mas sobretudo como artefacto flutuante e como vedante, cujo mercado, a partir do início do século XX, teve uma enorme expansão, nomeadamente graças ao desenvolvimento de aglomerados diversos à base de cortiça. Esta é considerada um material estratégico utilizado para múltiplas aplicações, desde a vedação de vinhos até à aeronáutica.

As qualidades únicas da cortiça oferecem vantagens difíceis de equiparar. É constituída por milhões de células suberosas, sendo que cada célula funciona como um isolante acústico e térmico e amortecedor em miniatura de pressão e absorve os choques.

O projecto culminou no estudo e optimização de processo dos aglomerados de cortiça para revestimentos de piso. Numa primeira fase, o objectivo foi adquirir o conhecimento do fabrico industrial para em seguida se realizar o processo no laboratório. Considerou-se como factores de estudo, a temperatura da prensa, o tempo de prensagem, o tempo de ciclo e a quantidade de resina, e a partir destas variáveis pretendeu-se traçar um estudo do comportamento do seu efeito nas propriedades do produto final.

A partir dos resultados das propriedades analisadas, notou-se que o tempo de ciclo é a variável mais importante no processo, sendo vantajosa para a estabilidade dimensional do material a diferentes condições de humidade e para a absorção de água, porém desvantajosa para a resistência mecânica. A diluição da resina pouco influencia no produto final, somente tendo efeito sobre a absorção de água. A temperatura mais fria surpreendeu com excelentes resultados, ficando só com mal desempenho no teor de formaldeído. Com o estudo feito pode-se manusear essas variáveis para obter um processo de melhoria e optimização da produção.

Palavras-chave (Tema): **cortiça, revestimentos, optimização**

Abstract

Cork is a material whose applications have been known since ancient times, some of them, at once related to construction, but rather as an artifact and as a floating seal, which the market from the early twentieth century, had a huge expansion, including through the development of various clusters based on cork. This is considered a strategic material used in multiple applications, from sealing wine to the aircraft.

The unique qualities of cork offer advantages difficult to match. It consists of millions of cells suberin, and each cell functions as an acoustic insulation and thermal shock in miniature pressure and absorbs shocks.

The project culminated in the study and process optimization of cork floor coverings. The first phase aimed to gain knowledge of the industrial production and then it was possible is to carry out the process in the laboratory. In this process, the factors of study, were: the planten temperature, the pressing time, cycle time and the amount of resin. The effect of these variables on the properties of the final product was then assessed.

From the results of the properties analyzed, it was observed that the cycle time is the most important variable in the process, being advantageous for the dimensional stability of the material towards different conditions of moisture and for water absorption, but disadvantageous for mechanical strength. The dilution of the resin has little influence on the properties of the final product, just having effect on water absorption. Surprisingly, a colder temperature led to excellent results, but had a poor performance for formaldehyde content. With this study, it will be possible to manipulate these variables for process improvement and optimization in the production of cork floor coverings.

Keyword: cork, coatings, optimization

Índice

1.Introdução.....	8
2.Revisão Bibliográfica	8
2.1 A Cortiça.....	10
2.1.1 Definição	10
2.1.2 Composição química da cortiça	10
2.1.3 Suberina	12
2.1.4 A lenhina.....	12
2.1.5 A celulose e as hemiceluloses	13
2.1.6 Os extractivos	13
2.1.7 Os componentes inorgânicos	14
2.2 Processo de fabrico dos aglomerados de cortiça.....	14
2.2.1 Matérias-primas de cortiça	14
2.2.2 Granulados	14
2.2.3 Aglomerados compostos.....	14
2.2.4 Exemplos de aplicação dos aglomerados.....	15
2.4 Adesivos	16
2.5 Resinas melanina-ureia-formaldeído (MUF)	16
3. Estado da Arte	18
4. Descrição Técnica e Discussão dos Resultados	19
4.1 Produção dos provetes em laboratório	19
4.1.1 Materiais e equipamentos	19
4.1.2 Modo de proceder	20
4.2 Testes de controle de qualidade realizados aos provetes	21
4.2.1 Peso Específico	21
4.2.2 Absorção a água	21
4.2.3 Água fervente	21
4.2.4 Tensão de ruptura	20
4.2.5 Teor de água.....	21
4.2.6 Estabilidade dimensional ao calor.....	21

4.2.7	Estabilidade dimensional em ambientes AC, CC e CH.....	21
4.2.8	Determinação de formaldeído	21
4.3	Estudo Prévio	21
4.3.1	Primeiro Teste Laboratorial.....	22
4.3.2	Segundo teste laboratorial.....	24
4.4	Estudo da Influência de variáveis processuais nas propriedades do produto final	27
4.4.1	Testes de controle de qualidade	28
4.5	Comparação do Material Standard da Indústria com o feito em laboratório.	31
4.6	Comportamento da Prensa	32
4.7	Discussão dos Resultados.....	34
4.7.1	Tensão de rotura	35
4.7.2	Água fervente	38
4.7.3	Absorção de água	39
4.7.4	Peso Específico	41
4.7.5	Estabilidade Dimensional ao calor	41
4.7.6	Teor de água.....	43
4.7.7	Estabilidade Dimensional em CC.....	46
4.7.8	Estabilidade Dimensional em AC.....	47
4.7.9	Estabilidade dimensional em CH.....	49
4.7.10	Humidade Relativa em CC.....	51
4.7.11	Humidade em CH	52
4.7.12	Humidade do comportamento ao calor.....	54
4.7.13	Teor de formaldeído.....	55
5.	Conclusão	56
6.	Avaliação do trabalho realizado.....	56
6.1	Objetivos Realizados	57
6.2	Limitações e Trabalho Futuro	57
6.3.1.1	6.3 Apreciação final	57
7.	Referências Bibliográficas	58
	ANEXO 1	
	ANEXO 2	

Notação e Glossário

ρ	Peso específico	kgf/m ³
m	Massa	kg
v	Volume	m ³
M_f	Massa final	g
M_i	Massa inicial	g
E_f	Espessura final	mm
E_i	Espessura inicial	mm
m_l	massa dos provetes antes da secagem	g
m_o	massa dos provetes depois da secagem	g
$c(HCHO)$	concentração de formaldeído	mg/L
V_0	volume da solução de tiosulfato para o ensaio do branco	ml
V	volume da solução de titulação de tiosulfato para o ensaio	ml
$c(Na_2S_2O_3)$	concentração da solução de tiosulfato	mol/L

1.Introdução

A extracção da cortiça é feita no tronco e ramos do sobreiro, sob a forma de peças semi-tubulares, habitualmente no verão, e com uma periodicidade legal mínima (em Portugal) de nove anos e a sua exploração começa após a árvore atingir cerca de 0,7m de perímetro a 1,3m do solo. A árvore não pode ser totalmente “despida” do seu revestimento suberoso, pois poderia não sobreviver a esta operação.

O primeiro descortiçamento (desbóia), produz uma cortiça chamada virgem, com uma superfície exterior muito irregular. Descortiçamentos sucessivos, dão origem a cortiça com uma superfície exterior mais uniforme, designada cortiça de reprodução, ou amadia. A primeira cortiça de reprodução, ainda com algumas irregularidades, tem o nome específico de secundeira, é utilizada, tal como a virgem, sobretudo para a trituração, obtenção de granulados e eventualmente, posteriormente, o fabrico de aglomerados. Dos despojos da poda, é obtida a falca, tecido misto de cortiça virgem, entrecasco e lenho, retirada tradicionalmente com machado ou enxó a partir dos ramos podados dos sobreiros, ou com equipamento específico (Gil, 1998; Oliveira, 2000).

O fabrico de aglomerado de cortiça para revestimento de pisos remonta ao ano 1900 e foi iniciada nos EUA por 4 pequenos fabricantes, que produziam cerca de 2000 m²/ano, tendo atingido por volta de 1927 cerca de 30000 m². Com o colapso económico de 1929 e conseqüente crise de construção civil, a sua produção teve uma diminuição pronunciada, recuperando contudo, sempre que a construção civil recuperava.

O processo de produção deste tipo de aglomerado era feito com os grânulos de cortiça virgem (cortiça da primeira extracção) devidamente limpos e calibrados que depois de introduzidos em moldes de aço, eram prensados até a densidade requerida, e sujeitos a temperaturas variáveis, entre 230°C a 300°C, durante períodos de 7 a 10 horas.

Aqui a aglomeração é conseguida por intermédio das resinas naturais da cortiça, formando uma massa sólida (bloco) com cores heterogéneas e ligeiras diferenças de densidade, que estão directamente relacionadas com a duração e temperatura da cozedura, bem como, com a quantidade e a qualidade da cortiça.

Com a necessidade de produção de maiores quantidades, houve que repensar um equilíbrio correcto de matérias primas disponíveis, bem como processos de fabricação mais expeditos.

Surge, então, a utilização de resinas sintéticas (resinas de ureia-formaldeído e seus derivados, resinas fenólicas e poliuretanos) como aglutinantes para a cortiça. Muito embora mantendo a forma tradicional do bloco com o cozimento em estufa, conseguia-se a aglutinação com temperaturas mais baixas (120°C a 160°C). No entanto, remanescia o problema das diferenças de cor e ao tempo de produção elevado no processo industrial.

Restava, então, aproveitar tecnologias existentes noutros campos para adoptar e suprir esta limitação. Com base na indústria do aglomerado de partículas de madeira, apareceu o processo de fabricação contínua do aglomerado de cortiça, que com o “engineering” de base já conhecido, possibilitou as necessárias alterações técnicas e tecnológicas que deram origem à primeira unidade industrial, cujo processo de fabrico será, a seguir, particularmente detalhado.

2.Revisão Bibliográfica

2.1 A Cortiça

2.1.1 Definição

Por definição a cortiça é o parênquima suberoso originado pelo meristema súbero-filodérmico do sobreiro (*Quercus suber L.*), constituindo o revestimento do seu tronco e ramos. Macroscopicamente, é um material leve, elástico e praticamente impermeável a líquidos e gases, isolante térmico e eléctrico e absorvedor acústico e vibrátil, sendo também inócuo e praticamente imputrescível, apresentando a capacidade de ser comprimido praticamente sem expansão lateral. Microscopicamente, a cortiça é constituída por camadas de células de aspecto alveolar, cujas membranas celulares possuem um certo grau de impermeabilização e estão cheias de um gás, usualmente considerado semelhante ao ar, que ocupa cerca de 90% do volume (Gil, 1998).



Figura 1 – Sobreiro (1)

Quando a cortiça é comprimida, as suas células encurvam e dobram, não lhe conferindo praticamente qualquer expansão lateral, havendo uma posterior recuperação devida à acção do gás comprimido no interior das células. A cortiça é também um material com uma baixa condutividade térmica e possui ainda uma notável estabilidade química e biológica e uma boa resistência ao fogo (Gil, 1998).

2.1.2 Composição química da cortiça

No que diz respeito à constituição química na cortiça, a suberina é o composto principal da parede celular, este é um biopolímero de carácter lipídico, responsável pela muito baixa permeabilidade da cortiça e que se encontra associada à lenhina, um biopolímero de carácter aromático. De facto, a composição química da cortiça e a estrutura molecular dos seus componentes continuam a ser objecto de estudo. (2)

A constituição química das paredes celulares da cortiça também podem ser divididas em dois tipos de componentes: os componentes estruturais e os componentes não-estruturais.

Pode-se promover a remoção de um componente estrutural da parede celular através de ataques químicos ou mecânicos com intensidade suficiente para fazer a despolimerização parcial e solubilização, e alterar profundamente as características e propriedades das células.(2)

Os componentes não-estruturais classificam-se em extractivos (ceras e taninos) e componentes inorgânicos (cinzas, ou seja, resíduo da combustão completa do material), os extractivos são compostos de massa molecular pequena, que são solúveis e podem ser retirados das células por solubilização com solventes de polaridade adequada, sem afetar de modo sensível as suas propriedades mecânicas.(2)

A composição química global da cortiça tem sido determinada por vários autores ao longo dos tempos. Em 1920, Klauber apresentou a seguinte composição para a cortiça: suberina 58%, lenhina 12%, celulose 22%, cerina 2% , outros componentes 1% e água 5% (% em massa seca). Os resultados publicados posteriormente mostram alguma variabilidade reportando teores de suberina na cortiça entre 33% e 50%, quer devido à utilização de métodos de análise diferentes, quer resultantes da própria diversidade do material. (3)

A tabela 1 apresenta a composição química da cortiça, como valor médio de determinações efectuadas em cortiça virgem e em cortiça amadia de dez árvores diferentes. A cortiça amadia é a de maior qualidade, sendo por isso a mais valorizada, e a única que pode ser utilizada para o fabrico de rolhas. A cortiça é um material onde as paredes celulares são constituídas principalmente por suberina e por lenhina, que representam em média 44,1% e 28% dos componentes estruturais e, em menor grau, pelos polissacarídeos celulose e hemicelulose. Em comparação com as células da madeira, cuja composição química tem sido amplamente estudada, e que é utilizada como referência quando não existem resultados específicos para a cortiça, pode dizer-se que o papel determinante desempenhado pela celulose na definição das propriedades da parede celular da madeira, onde representa mais de 50% do total, é substituído na cortiça pelo da suberina. Na cortiça, a celulose é um componente estrutural da parede celular com menos importância, representando apenas cerca de 9% do total.(3)

TABELA 1 – Composição química da cortiça (3)

Componente	%peso seco	
	Cortiça virgem	Cortiça Amadia
Cinzas	0,9 (0,2)	1,2 (0,2)
Extrativos	16,9 (2,5)	14,2 (1,1)
Suberina	35,2 (3,1)	39,4 (1,7)
Lenhina	22,4 (1,1)	24 (0,8)
Polissacarídeos	21,3 (2,4)	19,9 (2,6)

Entre parênteses o desvio-padrão.

2.1.3 Suberina

A suberina, principal componente das paredes celulares da cortiça, possui uma estrutura lipídica do tipo poliéster e, dadas as suas funções estruturais, não é possível removê-la sem destruir de forma irreversível a estrutura celular e a organização das paredes. (4)

Tal como com os outros componentes estruturais, não é possível retirar a suberina apenas por extracção com solventes, sendo preciso efectuar a despolimerização da molécula para obter a solubilização dos fragmentos. Trata-se de efectuar reacções que quebrem as ligações éster do polímero. Têm-se utilizado a hidrólise alcalina com NaOH ou KOH, a transesterificação alcalina por metanólise com metóxido de sódio e a hidrogenólise com LiAlH_4 que solubilizam os fragmentos, respectivamente, sob a forma de ácidos gordos ou álcoois gordos. Os estudos recentes utilizam habitualmente a transesterificação por metanólise como método de despolimerização. Técnicas de separação e identificação de compostos, tais como a cromatografia gás-líquido a espectrometria de massa, a espectroscopia de infravermelho e a ressonância magnética nuclear, permitem seguidamente fazer a identificação e a quantificação dos monómeros constituintes da suberina.(3)

A suberina é a responsável pelas principais propriedades da cortiça, as células da felogene originam as células do tecido suberoso dividindo-se sucessivamente para o seu exterior. A forma dessas células é de aproximadamente um prisma recto, alongado na direcção radial. (3)

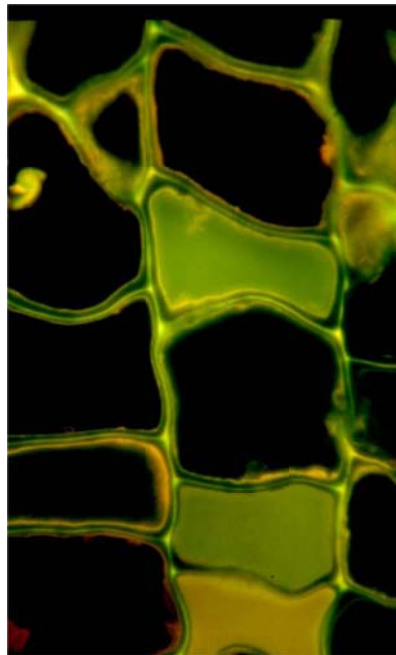


Figura 2. Estrutura celular do tecido suberoso da cortiça. Secção transversal. (5)

2.1.4 A lenhina

A lenhina, polímero de carácter aromático, constitui o segundo componente estrutural mais importante das paredes celulares da cortiça. Representa cerca de 20 a 25% da cortiça, o que corresponde a

aproximadamente 25 a 30% dos componentes estruturais das paredes celulares. A sua função é de suporte para os outros componentes estruturais na parede celular.(3)

2.1.5 A celulose e as hemiceluloses

Os polissacarídeos estruturais das paredes celulares da madeira e da cortiça são constituídos por celulose e hemicelulose, polímeros em que as unidades monoméricas são monossacarídeos, pentoses e hexoses. Os monómeros principais são a glucose, a xilose, a manose, a galactose, a arabinose, o ácido 4-O-metilglucarônico e a ramnose. Na cortiça, o total de polissacarídeos representa aproximadamente 20%, incluindo principalmente glucose e xilose, que correspondem a 50% e 35% da totalidade dos monossacarídeos, respectivamente, o teor de polissacarídeos da cortiça é muito mais baixo do que na madeira, onde atingem 70-80% dos componentes estruturais.(3)

2.1.5.1 A celulose

As moléculas da celulose dispõem-se ao lado uma das outras, de uma forma compacta e organizada, com ligações de hidrogénio intramoleculares e unidas entre si por ligações de hidrogénio intermoleculares. A estrutura é maioritariamente cristalina, formando agregados orientados, designados por microfibrilas, estas que possuem regiões cristalinas interposta por regiões desordenadas.(3)

Como resultado da sua estrutura molecular e supramolecular, a celulose é fortemente anisotrópica. As características de maior resistência à tracção na direcção das fibrilas de celulose, e a maior flexibilidade e deformabilidade que os materiais celulósicos apresentam nas direcções perpendiculares a esta, são manifestações desta anisotropia.(3)

2.1.5.2 As hemiceluloses

As hemiceluloses são heteropolímeros que incluem como monómeros diferentes monossacarídeos, quer pentoses (xilose, arabinose) quer hexoses (glucose, manose galactose, ramnose, ácido glucurónico), por vezes com grupos substituintes (por exemplo, metilo ou acetilo). As hemiceluloses diferenciam-se da celulose, para além da constituição monomérica, também por possuírem um menor grau de polimerização e uma estrutura linear ramificada.(3)

2.1.6 Os extractivos

Os extractivos, que são os componentes orgânicos não estruturais da parede celular, ocorrem em percentagens elevadas nas cascas das plantas, na cortiça, o total de extractivos apresenta grande variabilidade, desde 8% a 24%, mas a maioria das referências indica um teor de extractivos de 14% e 18%. A cortiça virgem tem, em geral, um teor de extractivos maior do que a cortiça amadia.(3)

Os extractivos da cortiça incluem muitas famílias de compostos: n-alcanos, n-alcanóis, ceras, triterpenos, ácidos gordos, glicéridos, esteróis, fenóis e polifenóis.(3)

2.1.7 Os componentes inorgânicos

A cortiça apresenta comparativamente um teor de cinzas baixo, entre 1% a 2%. De entre os elementos inorgânicos da cortiça é o cálcio o mais importante, representando geralmente mais de 60%; o fósforo, o sódio, o potássio e o magnésio apresentam teores com algum significado, e outros elementos são identificados em quantidades muito pequenas.(3)

2.2 Processo de fabrico dos aglomerados de cortiça

2.2.1 Matérias-primas de cortiça

Nos aglomerados compostos, são utilizados granulados obtidos a partir da trituração de cortiça virgem, bocados, refugo e desperdícios de outras operações de processamento, como sejam as aparas (de broca, de recorde etc.), rolhas defeituosas, restos de aglomerados, etc. (2)

2.2.2 Granulados

Os granulados são obtidos através da acção de vários tipos de moinhos em função do material a triturar e do tipo de grânulos pretendidos (EGF,1982). É também, geralmente, efectuada uma secagem por circulação forçada de ar quente, usualmente em secadores rotativos, para conferir ao granulado o grau de humidade desejado.(2)

2.2.3 Aglomerados compostos

A partir dos granulados, temos a produção dos aglomerados compostos de cortiça, que resultam de um processo de aglutinação dos grânulos com uma granulometria e massa volúmica específicas e pré-determinadas por acção conjunta de pressão, temperatura e um agente de aglutinação, em função do produto e da aplicação pretendida.(2)

O surgimento dos aglomerados foi de extrema importância, já que permitiu o aproveitamento das cortiças de qualidade inferiores e dos desperdícios provenientes do fabrico de rolhas, surgindo deste modo a utilização integral de toda a cortiça produzida. Conforme já referido, durante o fabrico das rolhas de cortiça natural são originados desperdícios (pó, aparas, rolhas defeituosas, bocados) que representam cerca de 75 a 80% do peso inicial da cortiça preparada. Estes desperdícios são utilizados, juntamente com as cortiças virgem, secundeira e amadia de má qualidade, no fabrico de aglomerados de cortiça. Para tal são previamente triturados, obtendo-se o que se designa por granulado de cortiça (ou seja, pedaços de cortiça com granulometria entre 0,25 e 45 mm).

No fabrico deste tipo de aglomerados usam-se fundamentalmente resinas sintéticas de poliuretano, fenólicas (fenol-formaldeído) e melamínicas, e por vezes são também utilizadas resinas de origem vegetal (EGF, 1982; Pereira, 1988; Silva, 1982).

O processo de aglomeração (Gil, 1987;Silva,1982) consiste na mistura (grânulos + aglutinante+ agentes opcionais) com as granulometrias desejadas, distribuídos num tapete rolante e enviados para uma prensa de

pratos aquecidos obtendo-se uma única folha na espessura desejada, com parâmetros operacionais usualmente nas seguintes gamas de valores: Temperatura dos pratos = 120-180°C; Pressão aplicada = 5-15 kgf/cm²; Tempo de prensagem = 3-8 minutos (Gil,1998).

Após a “cura”, efectua-se a desmoldagem e um arrefecimento/estabilização obtendo-se um bloco de aglomerado que é laminado em folhas, por vezes a quente.

A fase seguinte é a lixagem, para acerto da sua espessura e para conferir o grau de rugosidade desejado. As folhas assim preparadas são então cortadas, usualmente ladrilhos quadrados ou rectangulares, e depois sujeitos ao acerto das dimensões esquadria (Gil, 1998). No caso dos rolos estes são “desenrolados” por laminagem contínua do bloco cilíndrico, obtendo-se uma folha contínua que vai sendo enrolada.

As placas assim formadas podem depois ter vários tipos de acabamentos superficiais: enceramento, envernizamento, revestimento com películas diversas (por exemplo, PVC) ou mesmo pintura. (2)

2.2.4 Exemplos de aplicação dos aglomerados

A cortiça, sendo um material natural, tem sido atraente no que se refere aos revestimentos, através da multiplicidade dos produtos de decoração/revestimentos existentes, com diferentes texturas, tons e cores, permitem a criação de diferentes ambientes para as mais diversas utilizações, associados ao conforto inerente a este material. O uso da cortiça na decoração tem aumentado a sua popularidade, quer para aplicadores profissionais, quer no domínio do “do-it-yourself”. Nomeadamente neste último caso, os modernos sistemas de aplicação (colagens, rolos, encaixes etc.) aumentam a sua facilidade e rapidez de instalação (Gil, 1998).(2)

Para utilização em revestimentos de piso, os produtos com base em cortiça são muito variados e podem agrupar-se em:

- a) Ladrilhos de aglomerado de cortiça;
- b) Ladrilhos de aglomerado de cortiça com elastómero;
- c) Ladrilhos de aglomerado de cortiça com PVC;
- d) Revestimentos vinílicos sobre suporte resiliente de aglomerado de cortiça e de aglomerado de cortiça com PVC;
- e) Revestimentos de “rubbercork”;
- f) Pavimentos flutuantes com cortiça na camada superior e/ou inferior;

A nível do isolamento, as possibilidades de emprego do aglomerado expandido de cortiça na construção civil são (Gil, 1998):

- a) Terraços – isolamentos térmicos, de vibrações, de condensação de humidade, impermeabilização;
- b) Muros e telhados – isolamento térmico, prevenção de condensações;
- c) Tabiques e portas – isolamento térmico e acústico;
- d) Paredes e tetos – correcção acústica, isolamento térmico, conforto ambiental, decoração;
- e) Pisos – isolamento vibrátil e térmico;

- f) Pontes – isolamento térmico, junta de descontinuidade/dilatação.

2.4 Adesivos

Os primeiros aglomerados compostos de cortiça foram produzidos com os aglutinantes disponíveis na época (1920), provenientes de produtos naturais de origem animal ou vegetal, tais como caseína, albumina de ovo e gelatina animal. Estes adesivos causavam problemas devido ao aparecimento de bolores e a fenómenos de fermentação, com a subsequente desagregação do aglomerado. Após o aparecimento das resinas sintéticas, tanto as termoendurecíveis (fenólicas, epoxídicas, poliéster, poliamida) como as termoplásticas (poliuretanos), a sua utilização nos aglomerados compostos de cortiça permitiu o aparecimento de numerosas variedades de aglomerados com características diversas, alargando assim o campo de aplicação destes materiais.(2)

A classificação dos adesivos tem de atender aos critérios:

- a) Natureza e tipo de estrutura molecular;
- b) Composição química;
- c) Modo e tempo de endurecimento;
- d) Modo de apresentação e tipo de aplicação.

E para atender ao requisito de boa adesividade, tem de apresentar as seguintes características:

- Molhar a superfície, isto é, o ângulo de contacto entre o adesivo e a superfície deverá ser baixo;
- Sofrer endurecimento durante a cura, ou seja, durante o processo de polimerização;
- Sofrer deformação durante o endurecimento, de forma a libertar tensões internas eventualmente existentes.

2.5 Resinas melamina-ureia-formaldeído (MUF)

O uso de adesivos na indústria em geral continua a se desenvolver em um ritmo rápido e este é particularmente o caso dos adesivos estruturais. Estes que são baseados em composições de resina que polimeriza para dar alto módulo, adesivos de alta resistência, para que uma carga conjunta seja formada. É de se esperar, a evolução da química e as propriedades dos adesivos estruturais tenham levado e apoiado a disseminação destes materiais das indústrias de alta tecnologia e a todos os tipos de aplicações de engenharia em geral.

A maioria dos painéis de madeira é baseada nos adesivos ureia-formaldeído. As preocupações sobre os efeitos do formaldeído na saúde, desde algumas décadas atrás, fizeram surgir várias pesquisas para reduzir o teor de formaldeído nos adesivos e conseqüentemente o seu nível de emissão nas placas. Tem surgido várias soluções para a redução do formaldeído livre nas resinas, prejudicando algumas propriedades das placas, particularmente a resistência à água.

Uma revisão de vários relatórios sugeriu que o formaldeído é principalmente emitido a partir de 3 fontes, sendo a primeira o formaldeído residual na resina, a outra o formaldeído gerado por uma reação de condensação entre grupos metilol e outros carbonos aromáticos ou 2 grupos metilol e a terceira fonte é o formaldeído libertado pela degradação hidrolítica de resinas curadas, especialmente sob elevada humidade e elevada temperatura. (7)

Foram propostos adesivos alternativos para resolver os problemas de risco de saúde devido a emissão de formaldeído, o alto custo de produção, dado que o formaldeído tem um custo elevado. Sendo que o único limite de sucesso dessas resinas, foi o limite comercial, dado que houve alterações na performance da placa.

A baixa resistência a água das resinas ureia-formaldeído tem sido atribuída não somente pela baixa estabilidade hidrolítica de tais resinas, mas também pela sua falta de estabilidade. Fortificando tais resinas com a melamina é o modo mais comum de melhorar a sua resistência à água.(8)

A melamina é hexafuncional e tem a rígida estrutura da triazina, contém um anel de triazina, derivados nitrogenados heterocíclicos, em que o anel é composto de átomos de nitrogénio e carbono. A ligação de metileno ligado ao anel de triazina nas resinas MUF é mais estável do que a ligação de metileno ligado a uma ureia nas resinas de ureia-formaldeído, o que explica a maior resistência das resinas MUF à água.(8)

Algumas melhorias podem ser alcançadas com a adição de outros agentes reticulantes ou endurecedores especiais.

Baseado na redução da emissão de formaldeído, na redução de custo da produção da resina e na maior resistência à água, os sistemas de adesivos foram recentemente desenvolvidos para usar a combinação com resinas aminoplásticas.

3. Estado da Arte

O formaldeído é um importante produto químico amplamente utilizado pela indústria para a fabricação de materiais de construção e produtos domésticos numerosos. É também um subproduto da combustão e de outros processos naturais. Assim, pode estar presente em concentrações substanciais tanto em ambientes internos e ao ar livre. (9)

Fontes de formaldeído em casa incluem materiais de construção, o fumo, produtos domésticos, o combustível de queima de aparelhos, como fogões a gás ou aquecedores de querosene. O formaldeído, por si só ou em combinação com outros produtos químicos, serve de vários propósitos em produtos manufacturados. Por exemplo, é usado como um componente de colas e adesivos, como conservante em algumas tintas e como produtos de revestimento. (10)

Nas casas, as fontes mais significativas de formaldeído são os produtos de madeira usando adesivos que contenham resinas de ureia-formaldeído (UF).

A IARC (International Agency for Research on Cancer) classificou no dia 15 de Junho de 2004, o formaldeído como “cancerígeno para humanos”, concluindo que indivíduos expostos a uma faixa de 30-60 anos atrás apresentaram maior propensão a um raro tipo de câncer, nasofaringite.(9)

De acordo com as informações sobre o agravante da emissão de formaldeído, a Amorim Revestimentos começou a utilizar em 2008 a resina Acrodur, uma resina de base aquosa, que não continha substâncias como fenol, formaldeído e isocianatos. A qualidade do ar interior (no processo de fabrico e no uso nos revestimentos) foi significativamente melhorada pela redução das emissões orgânicas, e conseqüentemente os odores percebidos foram menores. Os materiais foram testados no Japão e obtiveram 5 estrelas na classificação, ou seja, sem restrição de uso.

Porém, devido a problemas de qualidade no mercado, elevadas emissões de COVs (compostos orgânicos voláteis) nomeadamente, furfural e ácido acético (devido ao pH ácido da resina) e ao factor custo da resina, em Abril de 2011 a indústria Amorim Revestimentos começou a fazer uso da resina G2Cork, uma resina melamina-ureia-formaldeído, visando a melhoria da qualidade do produto.

4. Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

Com o intuito de estudar os efeitos da temperatura, tempo de prensagem, tempo de ciclo e quantidade de resina, houve a necessidade de produzir placas de aglomerados de cortiça no laboratório da FEUP, reproduzindo experimentalmente o processo de fabrico utilizado na indústria. E deste processo manipular as variáveis para obter-se placas em diferentes condições. O material estudado foi o 3,5 IN, este que é o produto de maior fabrico na Amorim Revestimentos

O produto feito em laboratório foi levado ao Departamento de Engenharia de Madeiras do Instituto Politécnico de Viseu para ser lixado, cortado e estabilizado durante 7 dias à temperatura de 20°C e 65% de humidade. Após esta etapa, foram realizados testes de controle de qualidade no Laboratório da Amorim Revestimentos, tais como, peso específico, teor de água, teste de água fervente, absorção a água, tensão de rotura, estabilidade dimensional ao calor e estabilidade dimensional em ambientes à 25°C a diferentes humidades (25%,50% e 80% de humidade). De acordo com os resultados, tem-se um estudo sobre as variáveis manipuladas na qualidade do produto final.

O teor de formaldeído também foi analisado, dadas as exigências da regulamentação europeia sobre a redução de emissão de formaldeído. Foram escolhidas algumas séries de provetes para serem analisados no laboratório do Instituto Politécnico de Viseu.

4.1 Produção dos provetes em laboratório

4.1.1 Materiais e equipamentos

- Formulação do 3,5 IN do grupo Amorim Revestimentos;
- Resina G2Cork;
- Catalisador Sulfato de amónio;
- Papel de alumínio;
- Balança analítica com precisão de duas casas decimais;
- Molde quadrangular de madeira;
- Encoladora piloto;
- Prensa laboratorial controlada por computador e equipada com termopares, sensores de posição (LVDT) e célula de carga



Figura 3. Prensa do laboratório da FEUP



Figura 4. Encoladora do laboratório da FEUP

4.1.2 Modo de proceder

- a) Para o material 3,5 IN, utiliza-se dupla camada, pesa-se uma quantidade de camada inferior, reserve-a e faz-se o mesmo com a camada superior, de acordo com essas quantidades pesa-se a quantidade de resina necessária, no caso 17% de resina para cada quantidade de massa da camada inferior e 14% de resina para a camada superior. Sobre a quantidade de massa de resina usada para a camada superior, pesa-se 8% de catalisador o deixa-se de reserva para posterior encolagem. O catalisador só é utilizado para a camada superior.
- b) É colocado na encoladora as respectivas camadas, separadamente e acrescentando a resina.
- c) Tendo esses dois materiais encolados, pesa-se aproximadamente 95g para o sistema camada inferior+resina e coloca-se no molde de madeira forrado com o papel alumínio, realiza-se uma pré-prensagem e logo em seguida acrescenta-se no molde aproximadamente 24g do sistema camada superior+resina e faz-se outra pré-prensagem.
- d) Esta forma com a dupla camada é levada a prensa, na qual, pode ser manipulada a temperatura, o tempo de produção e o tempo de ciclo.

Para o **estudo prévio**, foram utilizados 16% de resina para cada quantidade de massa da camada inferior e 14% de resina para a camada superior, não se fez uso de catalisador e a resina não era diluída, pois na época de realização deste estudo, eram essas as condições industriais. Também para este estudo não foi utilizado a encoladora, a mistura foi feita manualmente, já que eram necessários poucos provetes inicialmente. A quantidade de massa dos sistemas do passo c) do item 4.1.2 foi definida após o estudo prévio.

O programa de prensagem utilizado foi implementado no programa existente para controlo da prensa, desenvolvido em LabVIEW. A espessura desejada é definida em função do tempo, sendo a resposta em tensão de compressão monitorizada.

4.2 Testes de controlo de qualidade realizados aos provetes

Em anexo está contido todo o procedimento experimental detalhado dos testes realizados.

4.2.1 Peso Específico

Para a determinação da densidade do material (norma interna)

4.2.2 Absorção a água

Para a determinação da quantidade de água absorvida em massa e em espessura (norma interna).

4.2.3 Água fervente

Observar a integridade do material após submetido em água a alta temperatura e determinar a quantidade de água absorvida em massa e em espessura (norma interna).

4.2.4 Tensão de rotura

Análise da resistência mecânica do material (norma interna).

4.2.5 Teor de água

Aferir o teor de água que o material possui inicialmente (norma interna).

4.2.6 Estabilidade dimensional ao calor

Análise do comportamento da placa quando submetida a uma temperatura elevada (norma interna).

4.2.7 Estabilidade dimensional em ambientes AC, CC e CH

Análise do comportamento da placa quando submetida a ambientes a 25°C com diferentes humidades, 25% de humidade em ambientes CC, 50% em AC e 80% em CH (norma interna).

4.2.8 Determinação de formaldeído

Determinar o teor de formaldeído das placas (NP EN120)

4.3 Estudo Prévio

Foi realizado um estudo do processo de fabrico dos aglomerados de cortiça para revestimento na indústria, Amorim Revestimentos, onde foi feita a recolha de todos os dados usados no processo de fabrico do material estudado e o modo de procedência dos testes de qualidade exigidos para o mesmo.

Após este estudo, foi feita uma tentativa de reproduzir o material no Laboratório de Engenharia Química da Universidade do Porto. Foram realizados testes de qualidade nos provetes para se ter a certeza que o material feito em laboratório se aproximava do material feito pela indústria.

4.3.1 Primeiro Teste Laboratorial

Foram feitos 12 provetes, com as condições de 178°C de temperatura, tempo de prensagem de 300 segundos (mais tempo de transferência), a mesma quantidade de resina usada industrialmente, todos esses dados estão de acordo com os standards da indústria. A modificação está no programa de prensagem, visando aumentar a pressão para se ter o peso específico necessário para um material tipo “parquet”.

Na tabela 2 indicam-se as quantidades de cortiça e resina utilizadas no fabrico das placas fabricadas em laboratório.

Tabela 2 – Quantidades de cortiça e de resina utilizadas nas placas

Massa utilizada na camada superior	Massa utilizada na camada inferior	Massa de resina na camada superior	Massa de resina na camada inferior
~108 g	~28 g	3,36 g	15,2 g

O primeiro Teste laboratorial foi realizado a 22-03-2011. Na tabela 3 apresentam-se as condições operatórias utilizadas neste teste.

Tabela 3 – Condições operatórias do primeiro teste laboratorial

Provetes	Temperatura Prensa 1 (°C)	Temperatura Prensa 2 (°C)	Porcentagem de resina utilizada	Tempo de prensagem (s)	Programa de prensagem
1	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C04.EØ
2	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C05.EØ
3	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C06.EØ
4	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C07.EØ
5	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C07.EØ
6	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C07.EØ
7	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C08.EØ
8	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C08.EØ
9	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C08.EØ
10	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C08.EØ
11	178	178	CI: 16% CS:14%	300	C08.EØ

4.3.1.1 Testes de controlo de qualidade

Na tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para o primeiro teste laboratorial.

Tabela 4 – Controlo de qualidade do primeiro teste laboratorial

Provetes	Peso Específico (kgf/m ³)	Média de absorção de água em massa (%)	Média de absorção de água em espessura (%)	Estabilidade Dimensional ao calor	Média de tensão de rotura (daN/cm ²)
1	429,56	Não realizado	Não realizado	Não realizado	Não realizado
2	444,64	Não realizado	Não realizado	Não realizado	Não realizado
3	454,06	Não realizado	Não realizado	Não realizado	Não realizado
4	491,70	Não realizado	Não realizado	0.29	Não realizado
5	549,76	Não realizado	Não realizado	0.25	Não realizado
6	574,80	Não realizado	Não realizado	Não realizado	Não realizado
7	542,74	Não realizado	Não realizado	0.15	Não realizado
8	562,01	Não realizado	Não realizado	0.18	Não realizado
9	557,72	24,96	22,77	Não realizado	17,7
10	539,31	19,5	20,44	Não realizado	19,63
11	543,60	Não realizado	Não realizado	0.1	Não realizado

Para um material considerado tipo “parquet” deve-se ter um peso específico de 520 ± 45 kgf/m³, tendo em vista que os materiais da Amorim Revestimento para o material 3,5 IN giram em torno do valor de 480 kgf/m³, os valores em azul são os considerados aceitáveis para um material tipo “parquet”.

Sendo o Controlo para estabilidade dimensional ao calor: Especificação $\leq 0,40\%$ (para o material 4M1), nesta altura os testes eram comparados com o material 4M1, por não se ter dados do material 3,5 IN.

De acordo com esses valores notou-se melhores resultados para os provetes do programa de prensagem C08.EØ, nos quais foram realizados os testes de absorção à água e tensão de rotura.

Para a tensão de rotura é aceitável, a nível comercial, um valor superior a 16 (daN/cm²), e por isso conclui-se que os provetes tiveram bom desempenho neste teste.

4.3.2 Segundo teste laboratorial

Uma nova bateria de provetes foi feita para se conseguir um peso específico bem próximo do Standard (± 480 kg/m³). Foi necessário alterar as quantidades de massas usadas no sistema camada inferior+resina, no sistema camada superior+resina e o programa de prensagem.

Na tabela 4 apresentam-se as condições operatórias do segundo teste laboratorial realizado em 29-03-2011,

Tabela 4 – Condições operatórias do Segundo Teste Laboratorial

Placas	Temperatura Prensa 1 (°C)	Temperatura Prensa 2	Porcentagem de resina utilizada	Tempo de prensagem (s)	Programa utilizado
13	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C09.EØ
14	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C09.EØ
15	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C10.EØ
16	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C10.EØ
17	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C10.EØ
18	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C10.EØ
19	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C10.EØ
20	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C10.EØ
21	178	178	CI: 16% CS: 14%	300	C10.EØ

Na tabela 5 indicam-se as quantidades de cortiça e resina utilizadas no fabrico das placas fabricadas em laboratório.

Tabela 5 – Característica do material – Ensaio 2

Provetes	Massa utilizada na camada superior	Massa utilizada na camada inferior	Massa de resina na camada superior	Massa de resina na camada inferior
13 a 15	~24 g	~95 g	3,36 g	15,2 g
16 a 18	~25 g	~100 g	~3,5 g	~16 g
19 a 21	~30 g	~115 g	~4,2 g	~18,4 g

Observação: Placa 14 não foi usada nos experimentos, devido a perda do material durante a lixagem.

Com a nova série de provetes foi realizado os testes de controlo de qualidade, peso específico, absorção a água e tensão de rotura.

4.3.2.1 Testes de qualidade

Tabela 6- Controle de qualidade do segundo teste laboratorial

Provetes	Peso Específico (kgf/m ³)	Média de absorção de água em massa (%)	Média de absorção de água em espessura (%)	Média de Tensão de rotura (daN/cm ²)
13	473,44	12,31	22,37	16,97
15	475,93	12,92	24,7	19,87
16	471,83	16,21	22,06	19,05
17	472,07	18,64	23,18	18,62
18	482,80	14	20,45	16.1
19	561,76	Não realizado	Não realizado	Não realizado
20	525,72	Não realizado	Não realizado	Não realizado
21	567,89	Não realizado	Não realizado	Não realizado

De acordo com os testes feitos, quanto ao peso específico, aprovam-se os valores em azul, os provetes 13 e 15 do programa de prensagem C09.EØ, no qual obtêm-se a espessura final de 4,5 mm de espessura após a prensagem e os provetes 16 ao 18, do programa de prensagem C10.EØ, no qual obtêm-se valores de espessura final de 4,75 mm.

Foi realizado o ensaio de absorção a água nos provetes aprovados no teste de peso específico, os melhores valores são dos provetes 13 e 15, apresentando menor absorção de água em massa, ao teste de tensão de rotura, obteve-se bons valores para os provetes 13 e 15.

Esta segunda bateria de ensaios permitiu a determinação da massa usada para todos os próximos ensaios, sendo então usada aproximadamente 95 g de para o sistema camada inferior + resina e aproximadamente 24 g para o sistema camada superior + resina e escolhido o programa de prensagem C09. EØ.

4.4 Estudo da Influência de variáveis processuais nas propriedades do produto final

Foram colocados como objecto de estudo, a temperatura, o tempo de ciclo, tempo de prensagem e a diluição da resina.

Para notar-se a sensibilidade dos parâmetros no produto final, houve variação da temperatura, reduzindo-a em 150°C e aumentando-a em 190°C, uso de uma prensagem e duas prensagens, redução e ampliação do tempo de prensagem, e diluição da resina. Utilizando uma metodologia de planeamento de experiências através da aplicação JMP (método de Taguchi), foi gerada a matriz de experiências. Foram realizados 18 ensaios no mês de Junho, utilizando o procedimento experimental relatado em 4.1.1 e 4.1.2, para ter-se uma quantidade aproximadamente de 20 provetes em cada situação para o devido estudo de cada mudança no processo e a relação com o controle de qualidade. Na tabela 7 se tem a bateria de ensaios.

Tabela 7 – Condições utilizadas nos ensaios para o estudo do efeito das variáveis do processo de prensagem.

Série	Provetes	Temperatura (°C)	Ciclo	Tempo (s)	Diluição
1	101 a 120	150	Duplo	150	10%
2	121 a 140	150	Duplo	225	10%
3	141 a 160	150	Simples	300	10%
4	161 a 180	150	Simples	150	10%
5	181 a 200	178	Duplo	300	10%
6	201 a 220	178	Duplo	150	10%
7	221 a 240	178	Simples	225	10%
8	241 a 260	178	Simples	300	10%
9	261 a 280	190	Duplo	225	10%
10	281 a 300	190	Duplo	300	10%
11	301 a 320	190	Simples	225	10%
12	321 a 340	190	Simples	150	10%
13	341 a 360	150	Duplo	300	30%
14	361 a 380	150	Simples	225	30%
15	381 a 400	178	Duplo	225	30%
16	401 a 420	178	Simples	150	30%

Série	Provetes	Temperatura (°C)	Ciclo	Tempo (s)	Diluição
17	421 a 440	190	Duplo	150	30%
18	441 a 460	190	Simples	300	30%

4.4.1 Testes de controlo de qualidade

A tabela 8 refere-se aos testes de peso específico, tensão de rotura, teor de água inicial, água fervente e absorção a água

Tabela 8 – Média do Peso Específico, tensão de rotura, teor de água inicial, água fervente e absorção a água referente ao estudo dos parâmetros que influenciam no processo.

Série	Média Peso Específico (kgf/m ³)	Média de Tensão de rotura	Teor de água Inicial (%)	Média de %Massa no teste água fervente	Média da %Espessura no teste água fervente	Após 48 h em água e 24 h em AC	
						Média de %Massa no teste de absorção a água	Média de %Espessura no teste de absorção a água
1	552,60 (1,55)	19,43 (2,40)	3,81 (0,32)	72,21 (6,58)	57,87 (7,65)	16,06 (0,58)	17,59 (0,8)
2	537,70 (1,63)	20,05 (2,35)	3,71 (0,25)	59,48 (9,87)	46,17 (3,99)	15,25 (3,66)	16,95 (2,13)
3	490,30 (1,99)	19,24 (1,36)	3,95 (0,11)	52,42 (4,1)	38,82 (3,05)	10,32 (0,84)	18,71 (5,52)
4	352,31 (2,6)	10,00 (0,75)	4,80 (0,08)	67,77 (11,57)	24,67 (3,41)	16,39 (1,3)	14,3(12,13)
5	493,05 (2,92)	18,80 (2,11)	2,91 (0,08)	53,55 (6,43)	46,01 (2,61)	18,32 (0,37)	21,62 (1,35)
6	483,10 (2,12)	17,65 (3,26)	2,93 (0,15)	47,82 (5,48)	42,72 (2,68)	17,92 (2,4)	19,20 (2,62)
7	439,63 (3,56)	16,85 (2,08)	3,85 (0,33)	42,19 (10,68)	30,72 (1,64)	14,29 (2,32)	10,65 (1,6)
8	473,58 (3,84)	14,77 (3,52)	3,48 (0,77)	49,8 (3,15)	41,22 (2,13)	16,23 (1,31)	16,50 (2,04)
9	488,15 (2,31)	16,7 (1,90)	3,06 (0,51)	54,26 (7,05)	40,92 (4,57)	15,97 (1,15)	17,43 (2,82)
10	494,8 (3,22)	16,48 (2,52)	2,94 (0,10)	55,96 (6,93)	47,51 (3,71)	12,21 (1,44)	18,97 (0,98)
11	488,5 (2,94)	14,81 (1,61)	2,51 (0,03)	83,03 (5,4)	34,85 (2,54)	17,78 (1,87)	16,67 (0,78)
12	380,15 (2,67)	11,09 (0,86)	3,61 (0,13)	74,3 (1,9)	9,88 (4,37)	13,08 (1)	8,97 (3,03)
13	535,6 (2,02)	14,44 (1,27)	3,14 (0,21)	78,21 (3,61)	48,71 (5,82)	15,63 (1,04)	22,26 (2,8)
14	474,2 (3,86)	18,66 (2,41)	3,93 (0,07)	72,58 (2,79)	46,57 (4,49)	13,56 (1,13)	16,67 (0,85)
15	530,61 (2,82)	17,74 (3,39)	2,82 (0,09)	79,83 (4,31)	42,97 (3,6)	14,73 (0,32)	19,61 (2,25)

Série	Média Peso Específico (kgf/m ³)	Média de Tensão de rotura	Teor de água Inicial (%)	Média de %Massa no teste água fervente	Média da %Espessura no teste água fervente	Após 48 h em água e 24 h em AC	
						Média de %Massa no teste de absorção a água	Média de %Espessura no teste de absorção a água
16	466,84 (2,02)	16,83 (1,57)	3,56 (0,11)	70,03 (4,78)	32,38 (4,59)	15,36 (1,89)	15,45 (2,14)
17	535,20 (2,05)	16,57 (1,46)	2,86 (0,03)	72,70 (9,85)	41,50 (2,93)	16,93 (0,65)	17,79 (2,25)
18	535,20 (2,05)	19,22 (2,98)	2,87 (0,21)	83,32 (2,29)	44,29 (1,43)	17,67 (1,02)	20,18 (2,33)

Entre parêntesis o desvio padrão para cada teste.

A tabela 9 refere-se aos testes de estabilidade dimensional ao calor e humidade do comportamento ao calor.

Tabela 9 – Média da Estabilidade Dimensional ao Calor referente ao estudo dos parâmetros que influenciam no processo.

Série	Média da Variação com comportamento ao calor %	Média da Humidade do Comportamento ao calor %
1	0,2018 (0,0202)	4,42 (0,08)
2	0,2113 (0,0067)	4,26 (0,09)
3	0,1245(0,0629)	4,35 (0,13)
4	0,1957 (0,0396)	4,70 (0,12)
5	0,2796 (0,0056)	4,06 (0,07)
6	0,2314 (0,0125)	4,06 (0,05)
7	0,1937 (0,0032)	4,17 (0,07)
8	0,1996 (0,0591)	4,16 (0,09)
9	0,2622 (0,0405)	4,36(0,09)
10	0,3188 (0,0174)	4,25(0,05)
11	0,3659 (0,0069)	4,57(0,02)
12	0,0528 (0,0488)	4,19 (0,12)
13	0,2587 (0,0188)	4,43 (0,06)
14	0,1134 (0,0122)	4,43 (0,10)
15	0,2647 (0,0274)	3,87 (0,13)
16	0,0996 (0,0961)	4,05 (0,08)
17	0,2983 (0,0049)	4,09 (0,09)
18	0,2574(0,0161)	3,82 (0,09)

Entre parêntesis o desvio padrão.

A tabela 10 refere-se a estabilidade dimensional em ambiente CC, AC e CH (25°C e a 25%,50% e 80% de humidade, respectivamente).

Tabela 10 – Média da Estabilidade Dimensional em ambientes

Série	Média da Variação em CC	Média da estabilidade em AC	Média da Estabilidade em CH
1	-0,2089	0,1939	0,6799
2	-0,1876	0,1816	0,6145
3	-0,2196	0,1224	0,5460
4	-0,2814	0,0920	0,4662
5	-0,1657	0,2578	0,6635
6	-0,1580	0,2673	0,6526
7	-0,2052	0,1568	0,5599
8	-0,1987	0,2136	0,6718
9	-0,1558	0,2939	0,7296
10	-0,1685	0,2960	0,7802
11	-0,1072	0,3233	0,7198
12	-0,2017	0,1020	0,4919
13	-0,1668	0,2336	0,6521
14	-0,1820	0,1576	0,4610
15	-0,1841	0,3098	0,7455
16	-0,1636	0,1324	0,4982
17	-0,1404	0,3023	0,7780
18	-0,1679	0,2572	0,6756

A tabela 11 refere-se a humidade em CC, AC e CH

Tabela 11 – Média da Estabilidade Dimensional em ambientes CC, AC e CH referente ao estudo dos parâmetros que influenciam no processo.

Série	Média Humidade em CC (%)	Média Humidade em AC (%)	Média Humidade em CH (%)
1	2,90	4,17	6,99
2	2,77	3,91	6,99
3	2,90	3,84	6,56
4	2,98	2,83	6,90
5	1,96	3,89	7,10
6	2,13	3,66	7,02
7	2,41	3,89	6,86
8	2,46	3,95	7,05
9	2,07	4,14	6,93

Série	Média Humidade em CC (%)	Média Humidade em AC (%)	Média Humidade em CH (%)
10	1,92	4,08	7,05
11	2,15	4,21	7,37
12	2,13	3,72	6,13
13	2,49	4,05	6,97
14	2,74	4,70	6,09
15	2,31	4,22	6,84
16	2,63	4,04	6,54
17	2,35	4,19	7,39
18	2,30	4,04	6,85

A análise dos testes são feitas no item 4.7, para melhor análise e discussão dos resultados, visto que existe um grande número de provetes e testes realizados para os mesmos.

4.5 Comparação do Material Standard da Indústria com o feito em laboratório.

Na tabela 12 apresenta-se uma comparação entre as propriedades das placas produzidas em laboratório com as propriedades dum produto industrial, produzidos em condições similares.

Tabela 12 – Comparação do material produzido na indústria com os produzidos no laboratório, nas condições usuais da indústria

Controle de qualidade	Unidades de medida	Indústria	Laboratorial
Temperatura	°C	178	178
Tempo de prensagem	s	~314	~314
Diluição	%	10	10
Peso Específico	kgf/m ³	489,00 (+/- 8,12)	493,05 (+/- 2,92)
Tensão de ruptura	daN/cm ²	20,9 (+/- 1,36)	18,8 (+/- 2,11)
Teor de água	%	0,6	2,197 (+/- 0,085)
Estabilidade Dimensional ao calor	%	Não realizado	0,2796
Estabilidade Dimensional em CC	%	-0,25	-0,1656
Humidade em CC	%	2,1 (+/- 0,1)	1,97 (+/- 0,02)

Controle de qualidade	Unidades de medida	Indústria	Laboratorial
Estabilidade Dimensional em AC	%	0,68 (+/- 0,1)	0,2578
Humidade em AC	%	4 (+/- 0,1)	3,11 (+/- 1,03)
Estabilidade Dimensional em CH	%	Não realizado	0,6635
Humidade em CH	%	7,3 (+/- 0,1)	7,10 (+/- 0,054)
Água Fervente (%Massa)	%	65,95	53,55 (+/- 6,43)
Água Fervente (%Espessura)	%	38,1	46,01 (+/-2,61)
Absorção a água (%peso)	%	Não realizado	18,32 (+/- 0,37)
Absorção a água (% espessura)	%	Não realizado	21,62 (+/- 1,35)

Os testes de estabilidade dimensional ao calor, estabilidade dimensional em ambiente CH e absorção de água não foram realizados na empresa, por isso não se tem estes resultados.

A tensão de rotura e o peso específico do material feito em laboratório apresenta bom comportamento. Em relação aos valores encontrados para estabilidade dimensional em CC e AC, serem bem distantes dos valores industriais, pode-se inferir que isto ocorre devido aos provetes do laboratórios apresentarem valores de teor de água inicial quase o dobro do valor encontrado na indústria.

4.6 Comportamento na Prensa

Foi realizado um estudo do comportamento da prensa da Amorim Revestimentos para o material 3,5 IN, recolhendo dados de pressão, através do painel de controlo, a cada 10 segundos, com o auxílio de um cronómetro.

Essa análise é necessária para tentar reproduzir na prensa laboratorial o mesmo tipo de comportamento da prensa industrial. Na figura 5 apresenta-se o ciclo de prensagem utilizado na indústria (a pressão indicada refere-se à pressão no sistema hidráulico).

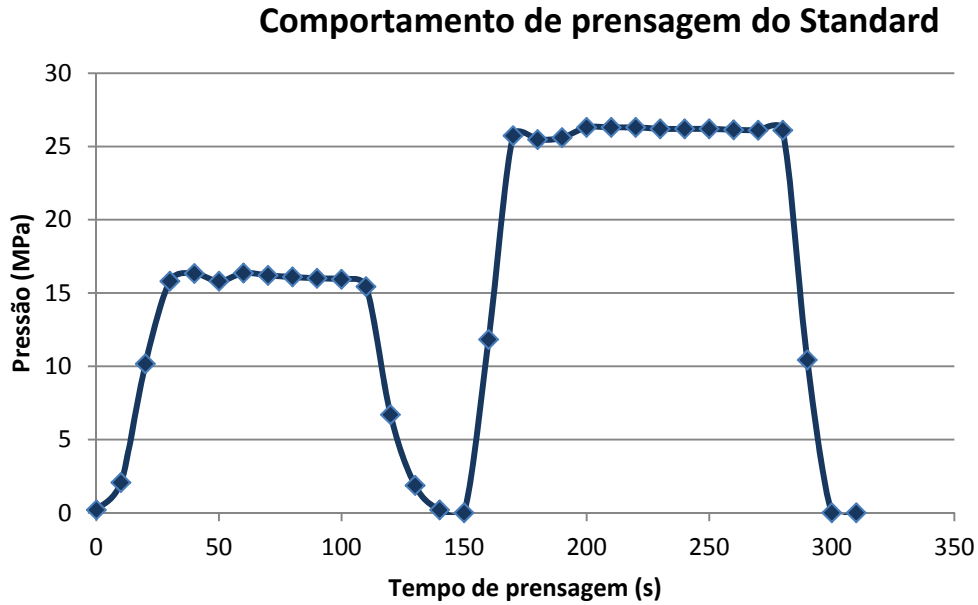


Figura 5 – Pressão (MPa) em função do tempo de prensagem (s) para a prensa industrial

Os dados para plotar este gráfico foram colectados na Amorim Revestimentos, com o auxílio de cronómetro e a leitura da pressão para o dado tempo no painel de controlo.

De acordo com o gráfico a primeira prensa fecha antes de 150s e o tempo de sua abertura até a passagem do material para a segunda prensa é de aproximadamente 33 segundos.

Utiliza-se dupla prensagem, a prensa 1 funciona a uma pressão de 16 (+/- 0.3) MPa e a prensa 2 a uma pressão de 26 (+/- 0.3) MPa. O tempo de prensagem total é de aproximadamente 314 segundos.

Na figura 6 apresenta-se o ciclo de prensagem (a pressão indicada refere-se à pressão efectiva na placa determinada pela célula de carga).

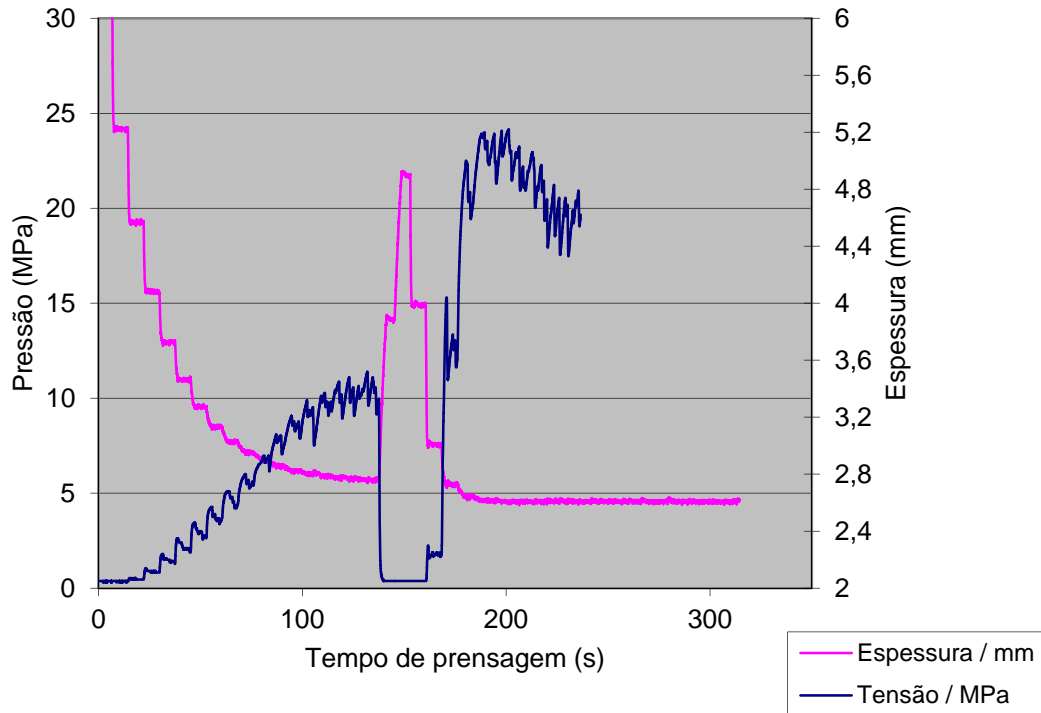


Figura 6 – Pressão (MPa) em função do tempo de prensagem (s) para a prensa laboratorial

O programa de prensagem utilizado no Laboratório da FEUP permitiu realizar a prensagem de acordo com os dados de espessura. A primeira prensa obteve uma pressão de aproximadamente 10MPa e a segunda prensa de aproximadamente 23MPa. A figura acima foi de um provete feito a 178°C, ciclo duplo, 225 segundos de prensagem e diluição da resina em 10%.

4.7 Discussão dos Resultados

A temperatura, o tempo de ciclo, o tempo de prensagem e diluição da resina foram as variáveis colocadas em estudo, para a percepção da influência de cada uma delas no produto final. Estas variáveis tem fundamental importância para o processo de otimização de processo, pois são as que mais afectam os custos de produção, afectam a qualidade do produto e podem ser facilmente modificadas no processo industrial.

Utilizando os dados dos testes de controle de qualidade feito no Laboratório da Amorim Revestimentos, foi realizado um estudo dessas variáveis usando uma análise de variância (ANOVA) através do programa JMP, permitindo notar-se a sensibilidade das variáveis manipuladas no produto final.

A seguir, é dada uma tabela com os factores que mais influenciam em cada teste e a partir destes a análise gráfica de cada ensaio.

Tabela 13 – Resultados da ANOVA (valor de prova) para cada uma das propriedades avaliadas.

Testes de Controlo de qualidade	Temperatura	Ciclo	Tempo prensagem	Diluição
Tensão de rotura	0,4721	0,0003	0,0045	0,6683
Água Fervente - Massa	0,8265	0,7076	0,1943	0,001
Água Fervente - Espessura	0,0108	0,0001	0,0205	0,099
Absorção Água- Massa	0,0608	0,0436	0,1891	0,863
Absorção Água - Espessura	0,2387	0,0024	0,0004	0,002
Estabilidade Dimensional ao Calor (variação)	0,0046	0,0002	0,9352	0,9287
Estabilidade Dimensional - AC	0,001	0,001	0,9301	0,039
Estabilidade Dimensional - CC	0,0003	0,0762	0,3157	0,041
Estabilidade Dimensional - CH	0,001	0,001	0,1755	0,8367
Humidade	0,001	0,0002	0,396	0,0152
Humidade CC	0,001	0,0001	0,0038	0,2024
Humidade AC	0,4016	0,469	0,1907	0,0148
Humidade CH	0,0292	0,001	0,5258	0,1291
Humidade - Estabilidade Dimensional ao Calor	0,0001	0,0663	0,0086	0,0101
Peso Especifico	0,034	0,0001	0,0001	0,0001

Os valores dos dados referem-se aos resultados da ANOVA que permite determinar o nível de significância dos factores estudados nas características que estão em análise, os valores da tabela acima são utilizados aqueles menores ou iguais a 0,005 , sendo os de maior influência sobre os parâmetros estudados.

De acordo com a tabela 13, nota-se quais as condições que mais influenciam no processo. A seguir, foi feito um estudo de todos os testes de qualidade realizados com a relação da variável que mais influenciou no produto.

Para cada teste de qualidade será apresentado duas figuras importantes, para a primeira, o eixo vertical trata-se dos valores máximo, mínimo e médio dos ensaios de teste de qualidade e o eixo horizontal tem-se a relação das variáveis em estudo. A inclinação de recta da primeira figura retrata para onde deve tender a melhoria do produto para cada modificação do processo.

Tendo em vista a enorme quantidade de provetes que foram analisados, foi necessário uma análise gráfica para melhor visualização das situações produzidas em laboratório, apresentam-se então os efeitos dos níveis dos factores estudados nas propriedades dos aglomerados de cortiça produzidos.

A segunda figura visa apresentar as 18 séries, sendo o eixo vertical, os dados dos testes de qualidade e o eixo horizontal a variável que mais influencia no processo. Foi necessário utilizar de formatos diferentes nos gráficos para melhor caracterização e análise do material, sendo portanto a linha contínua representando ciclo duplo com a resina diluída a 10%, a linha tracejada representando ciclo simples com a resina diluída a 10%, o losango para ciclo simples com resina diluída a 30%, o círculo para ciclo duplo com resina diluída a 30%. Ao

plotar o gráfico por tempo de produção, notam-se as cores, verde (Temperatura de 150°C), amarelo (Temperatura de 178°C) e a cor vermelha (Temperatura 190°C). De acordo com esse procedimento, abaixo foram realizadas as análises.

4.7.1 Tensão de rotura

O teste de tensão de rotura é influenciado pelo ciclo e tempo de prensagem.

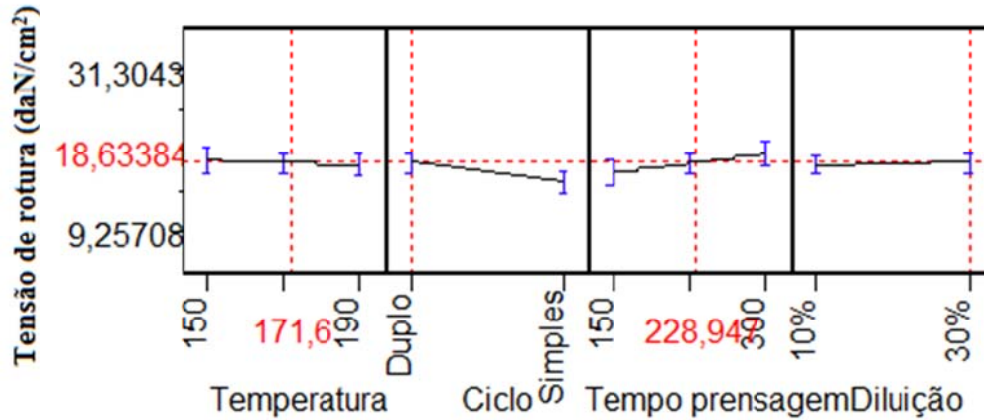


Figura 7 – Análise de Tensão de rotura

De acordo com a figura afere-se que o ciclo duplo e aumentando o tempo de prensagem obtêm-se melhores valores para a tensão de rotura.

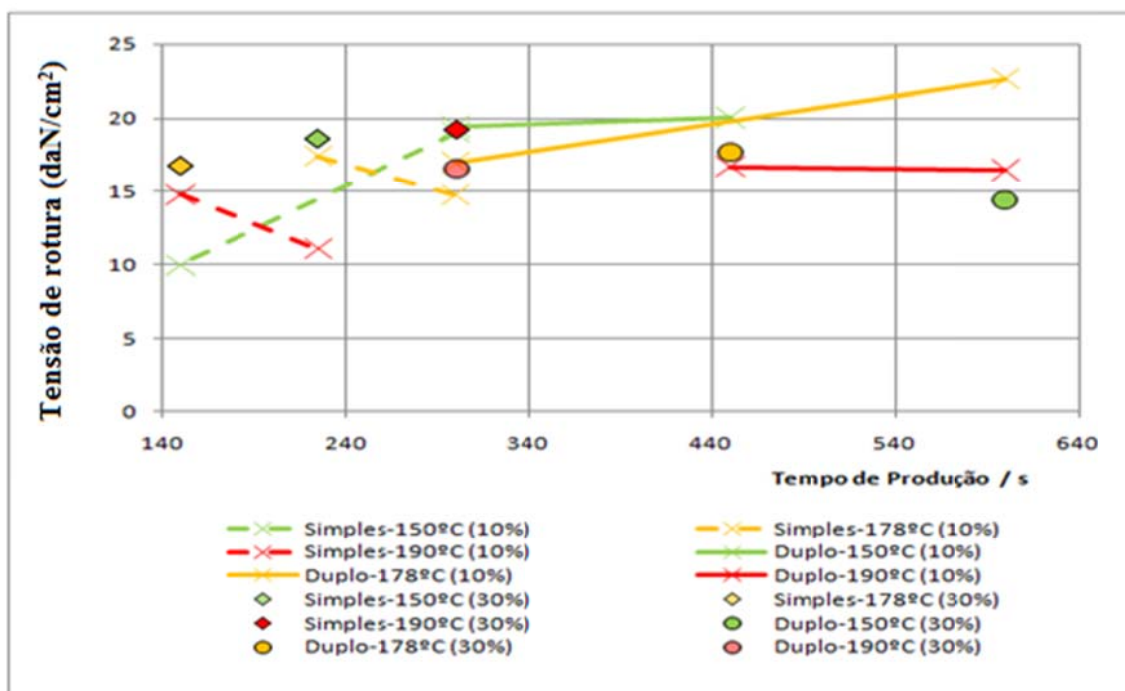


Figura 8 – Tensão de rotura (daN/cm²) em função do tempo de produção (s)

Os ensaios correspondentes a ciclo duplo a 150 °C (traço contínuo verde) tem um ótimo resultado de resistência mecânica e conforme o tempo de produção vai aumentando o desempenho das placas melhora. O ciclo duplo a 178 °C (traço contínuo amarelo) apresenta um bom desempenho quando o tempo de produção é maior e melhora quanto maior for esse tempo. O ciclo duplo apresenta bons resultados à exceção para a temperatura de 190 °C (traço contínuo vermelho) que não apresenta boa resistência mecânica e conforme aumenta o tempo de produção o material não apresenta melhorias.

Para o ciclo simples a 150 °C (tracejado verde) obtém-se bom desempenho a um tempo de produção de 300 segundos. Para o ciclo simples a 178 °C (tracejado amarelo) obtém-se uma boa tensão de rotura entre 225 segundos a aproximadamente 240 segundos, observado graficamente. Para o ciclo simples a 190 °C, (tracejado vermelho) os resultados são péssimos.

A resina diluída a 30% apresenta dois bons resultados, losango verde e losango vermelho, apresentando resultados melhores que o ciclo simples a 10% de diluição para as mesmas temperaturas.

Para a tensão de rotura, existem pelo menos cinco situações de bom desempenho:

- Temperatura: 150°C, ciclo duplo, 10% diluição da resina, tempo de produção de 300 segundos
- Temperatura: 178°C, ciclo duplo, 10% diluição da resina, tempo de produção de 600 segundos.
- Temperatura: 150°C, ciclo simples, 10% diluição da resina, tempo de produção de 300 segundos.
- Temperatura: 150°C, ciclo duplo, 30% diluição da resina, tempo de produção de 225 segundos.
- Temperatura: 190°C, ciclo simples, 30% diluição da resina, tempo de produção de 300 segundos.

4.7.2 Água fervente

O teste de água fervente, quando analisado em torno de absorção em massa é influenciado pelo efeito da diluição. Já quando é analisado em torno de absorção em espessura, os efeitos é o tempo de ciclo.

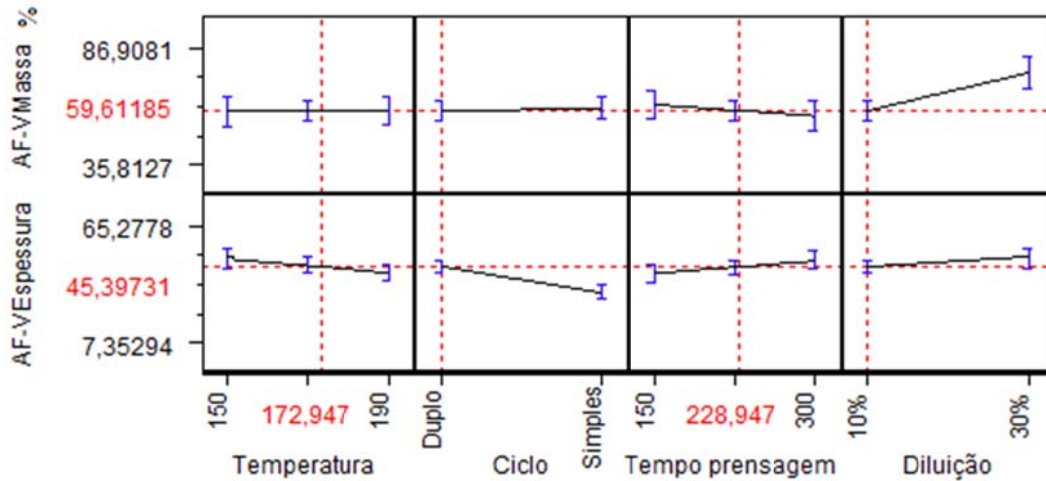


Figura 9 – Análise do teste de água fervente

Pela figura percebe-se que a quanto mais diluída a resina, maior será a absorção em massa no teste de água fervente e quanto a absorção em espessura, o ciclo simples possui uma melhor performance.

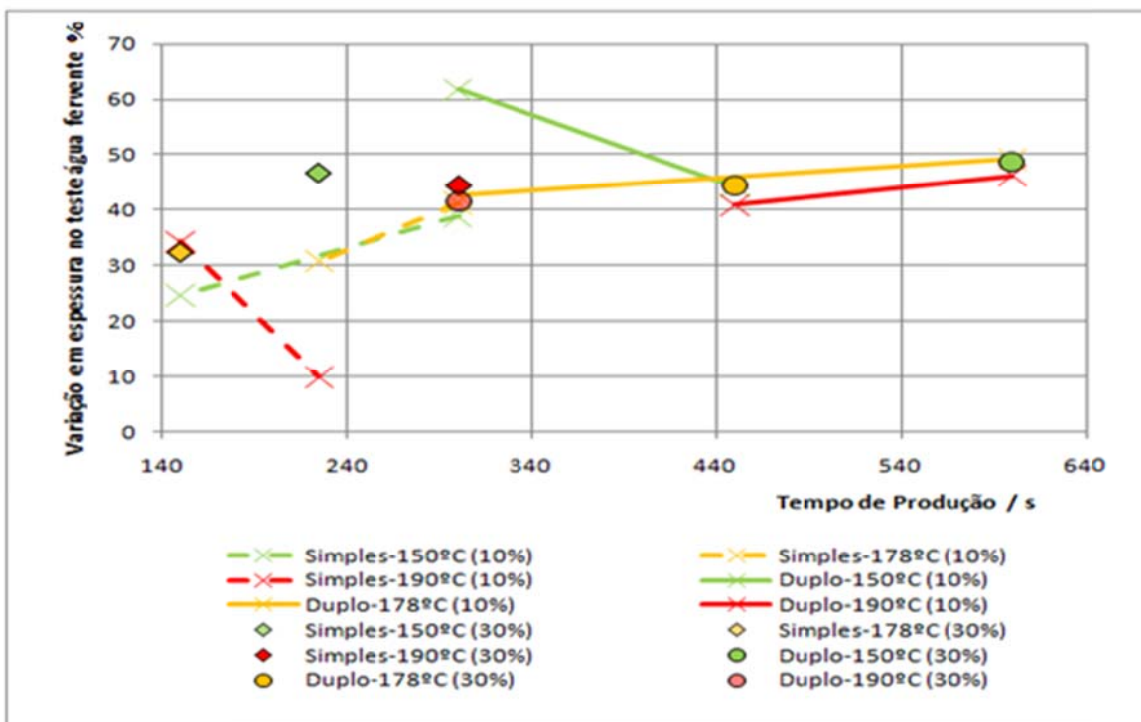


Figura 10 – Variação em espessura (%) no teste de água fervente em função do tempo de produção (s)

O ciclo simples a 190 °C (tracejado vermelho) possui o melhor desempenho e quanto maior o tempo de produção, menos o material absorveu de água em espessura, ao contrário do ciclo simples a 178 °C e a 150

°C (tracejado amarelo e verde) que quanto menor o tempo de produção, menos o material absorveu em espessura. Algumas placas fabricadas com ciclo simples, valores tracejados, têm melhor desempenho, que o standard industrial.

O ciclo simples, temperatura mais fria, menor tempo de prensagem e diluição a 10% ou ciclo simples, a temperatura de 190°C, diluição de 10% da resina e maior tempo de prensagem correspondem a bons desempenhos no teste de água fervente.

Os ensaios que correspondem a uma aceitável absorção de água em espessura, tendo também boa tensão de rotura são:

- Temperatura: 190°C, ciclo simples, 30% diluição da resina, tempo de produção de 300 segundos.
- Temperatura: 150°C, ciclo simples, 10% diluição da resina, tempo de produção de 300 segundos.

4.7.3 Absorção de água

A absorção de água em massa não sofre variação conforme o, tempo de prensagem, temperatura de prensagem, diluição da resina e tempo de ciclo.

A absorção de água em espessura é fortemente influenciada pelo tempo de prensagem e também influenciada pelo tempo de ciclo e diluição da resina.

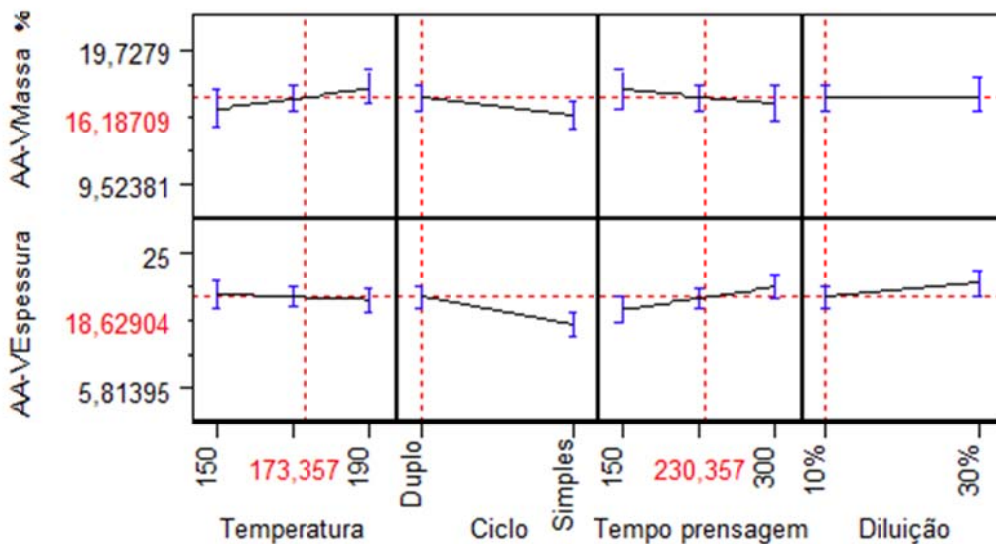


Figura 11 – Análise do teste de absorção a água

De acordo com a figura acima, a absorção de água em espessura tem boa performance para ciclo simples, menor tempo de prensagem e para resina diluída a 10%.

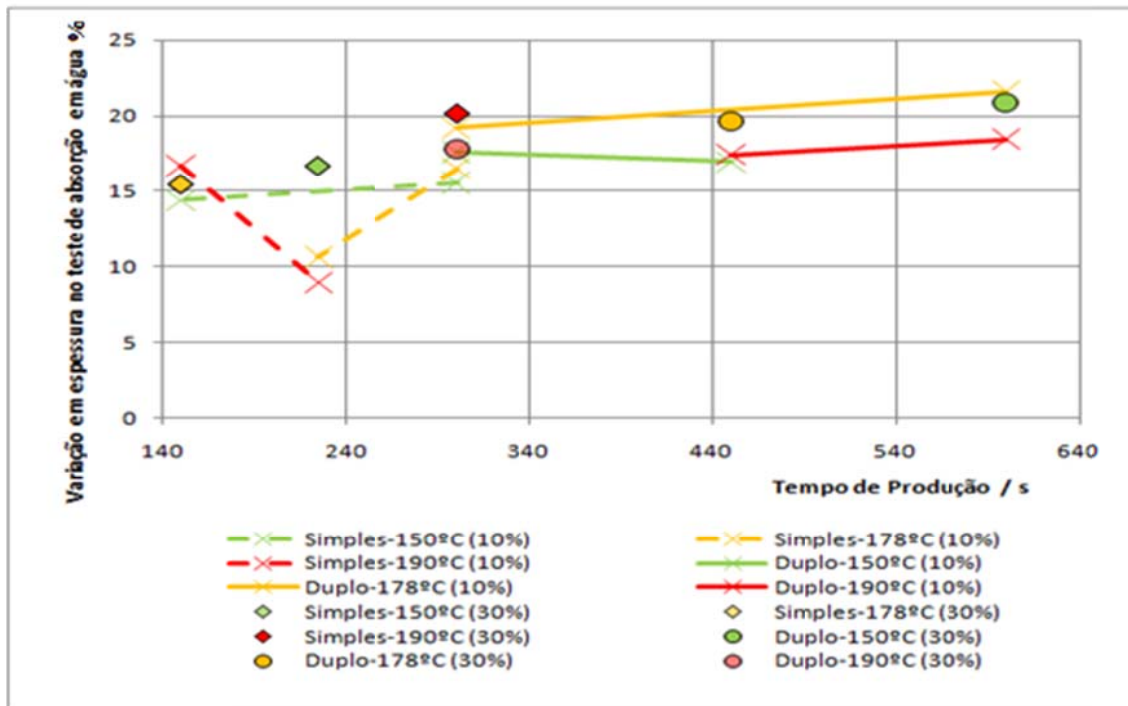


Figura 12 – Variação em espessura (%) no teste de absorção a água em função do tempo de produção (s)

Para tempo de produção entre 150 a 300 segundos, tem-se que o ciclo simples a 190 °C tem bom desempenho (tracejado vermelho), diminuindo a variação de espessura quando aumenta o tempo de produção; o ciclo simples a 178 °C (tracejado amarelo) tem comportamento inverso e o ciclo simples a 150 °C (tracejado verde) não sofre tantas variações. O ciclo simples tem melhores resultados que o ciclo duplo e conforme se aumenta o tempo de prensagem, o material tem tendência a absorver mais água. A resina mais diluída contribui para a maior absorção em água.

Os melhores resultados para os ensaios realizados correspondem a:

- Temperatura: 178°C, ciclo simples, 10% diluição da resina.
- Temperatura: 190°C, ciclo simples, 10% diluição da resina.

4.7.4 Peso Específico

O tempo de ciclo, tempo de prensagem e a diluição da resina tem forte influência na determinação do peso específico

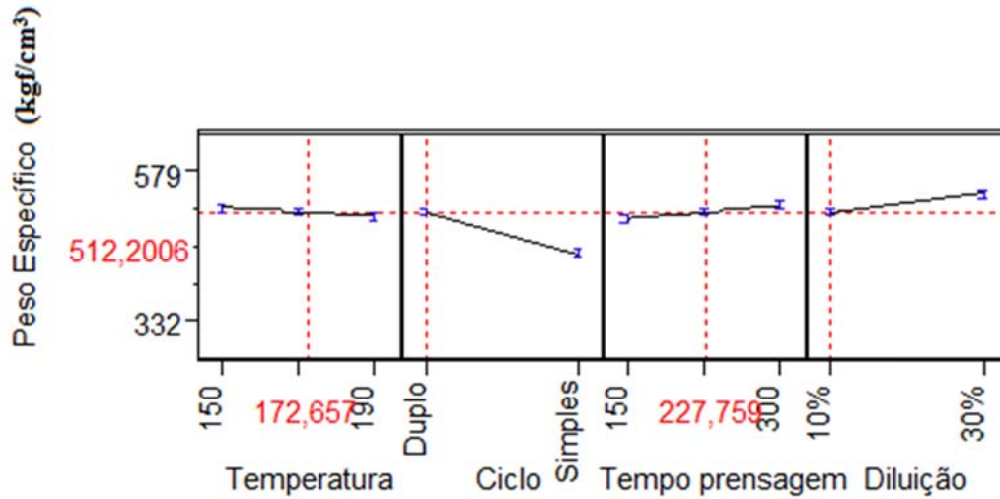


Figura 13 – Análise do Peso Específico

De acordo com o gráfico, tem-se que o ciclo simples, aumentando a diluição a 30% e aumentando o tempo de prensagem se consegue elevados valores de peso específico.

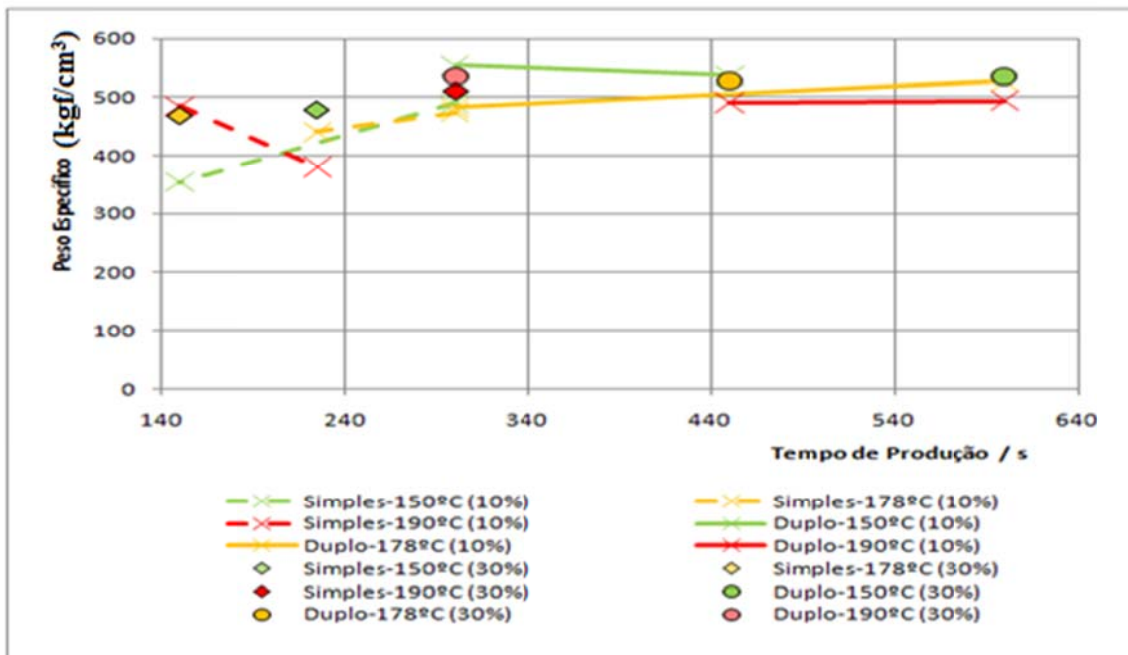


Figura 14 – Peso Específico (kgf/m³) em função do tempo de produção (s)

Para ciclo simples, representados por tracejados, tem-se valores aceitáveis de peso específico, quando a temperatura for de 190°C, 10% diluição a um menor tempo de prensagem (150 segundos) e quando a temperatura for de 150°C e 178°C, com 10% diluição a um tempo de prensagem de 225 s.

Para a diluição da resina a 30% consegue-se valores de peso específico tendencialmente superiores (comparação feita entre círculos e losangos).

Para ciclo duplo (traço contínuo e círculos), todas as condições satisfazem o peso específico necessário, sendo que a melhor performance ocorre a temperatura de 150°C, 10% de diluição da resina e ao tempo de prensagem de aproximadamente 300 segundos. No ciclo duplo nota-se valores mais altos de peso específico.

4.7.5 Estabilidade Dimensional ao calor

A temperatura e o tempo de ciclo interferem na estabilidade dimensional ao calor.

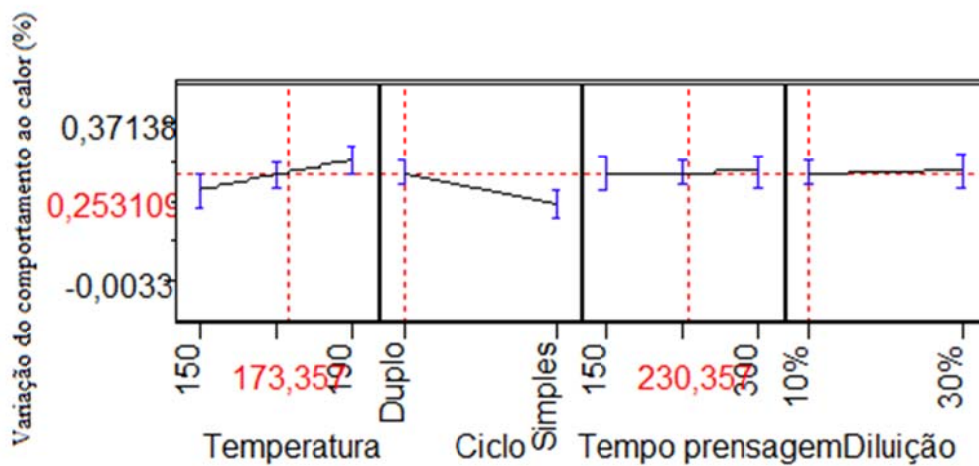


Figura 15 – Análise do comportamento ao calor

Quando menor a temperatura e a ciclo simples, melhor a estabilidade dimensional da placa ao calor.

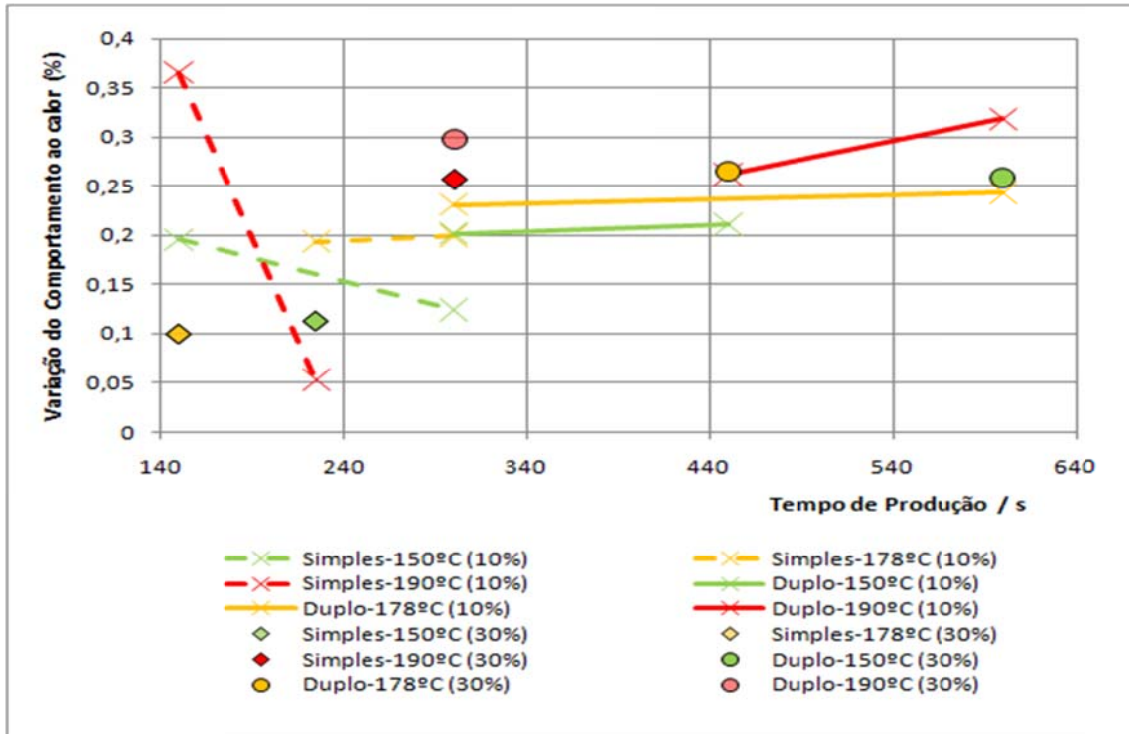


Figura 16 – Variação do comportamento ao calor (%) em função do tempo de produção (s)

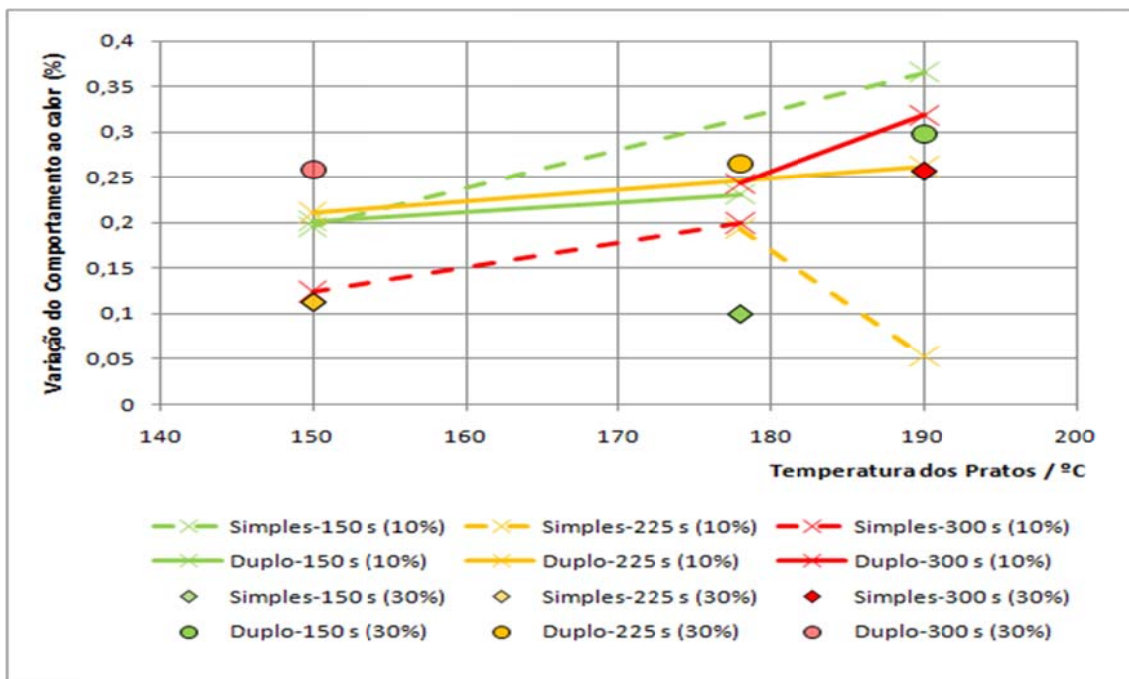


Figura 17 – Variação do comportamento ao calor (%) em função da temperatura dos pratos (°C)

Ciclo simples a 190 °C e a 150 °C (tracejado vermelho e verde) para tempos de produção superiores conferem boa estabilidade dimensional ao calor, sendo o de melhor performance a temperatura de 190°C, 10% diluição da resina, ciclo simples, tempo de prensagem de 225 segundos.

Quanto à diluição da resina, tem-se que o ciclo simples a temperatura e 150 °C e 178 °C (losango verde e amarelo) denotam bons resultados, mas para a temperatura de 190 °C, as placas apresentam um péssimo desempenho.

O ciclo simples permite maior estabilidade do material ao calor e conforme se aumenta o tempo de prensagem, tem-se maior estabilidade.

Para ciclo simples, a resina mais diluída tem melhor resposta de estabilidade.

A temperatura menor de prensagem (150°C) conduz a um material tendencialmente mais estável ao calor.

4.7.6 Teor de água de equilíbrio

A temperatura e o tempo de ciclo são importantes (factores significativos) para se ter menores valores de teor de água no material.

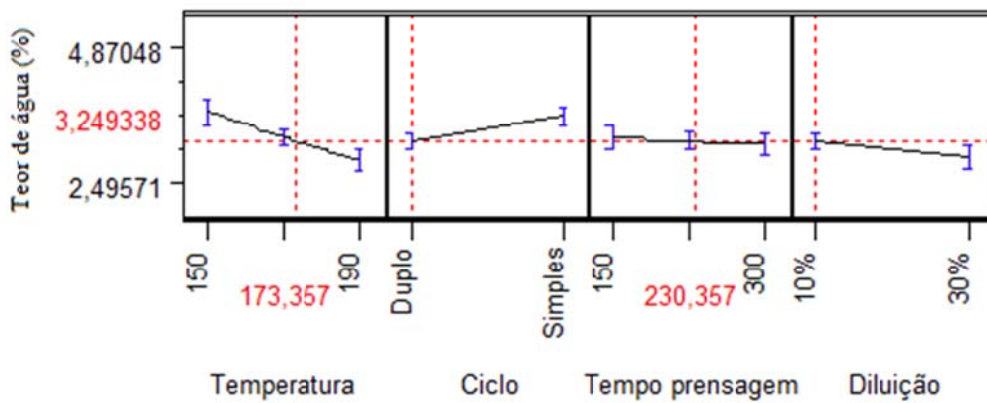


Figura 18 – Análise do teor de água

Para temperaturas mais elevadas e ciclo duplo de prensagem tem-se menores valores de teor de água de equilíbrio.

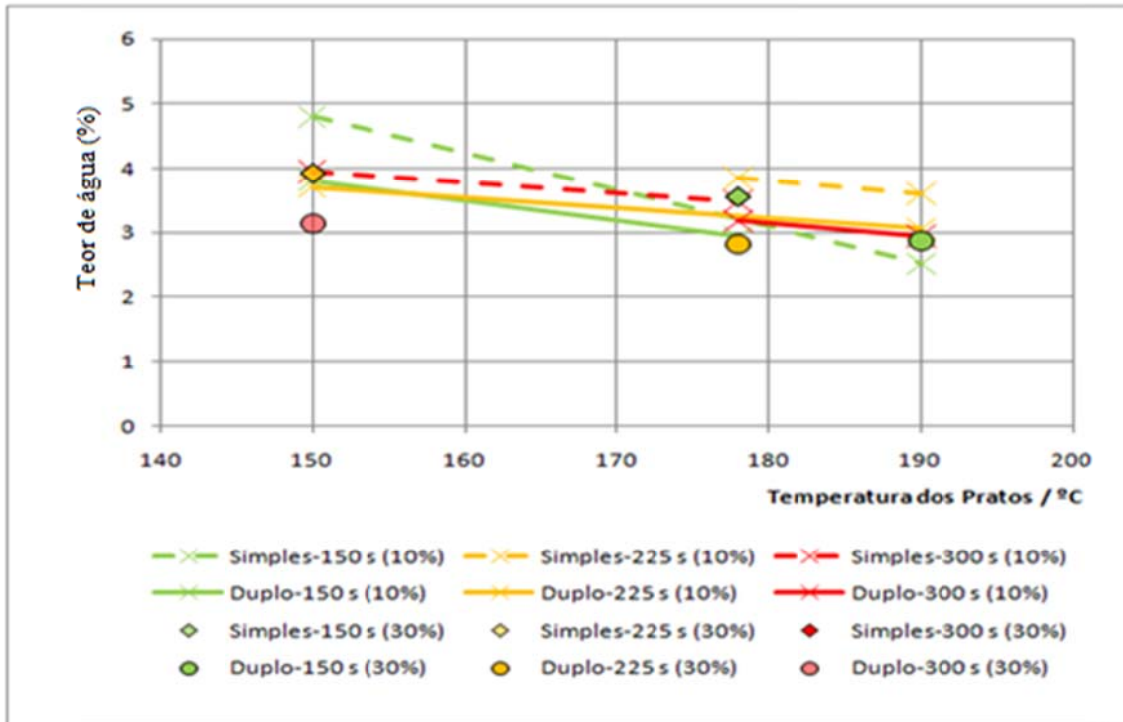


Figura 19 – Teor de água (%) em função da temperatura dos pratos (°C)

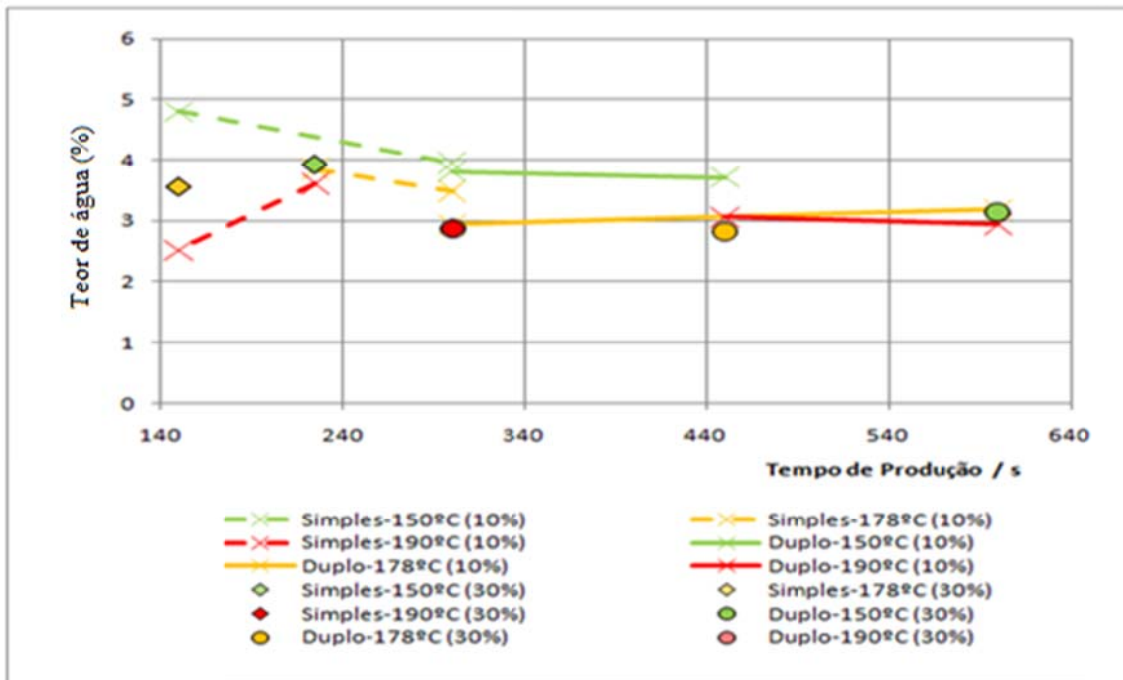


Figura 20 – Teor de água (%) em função do tempo de produção (s)

O comportamento do teor de água de equilíbrio para o ciclo duplo tem bons resultados e é o mesmo para temperaturas altas (178°C e 190°C) para resina diluída a 10% (traço contínuo) e a 30% (círculos) possuem praticamente o mesmo valor.

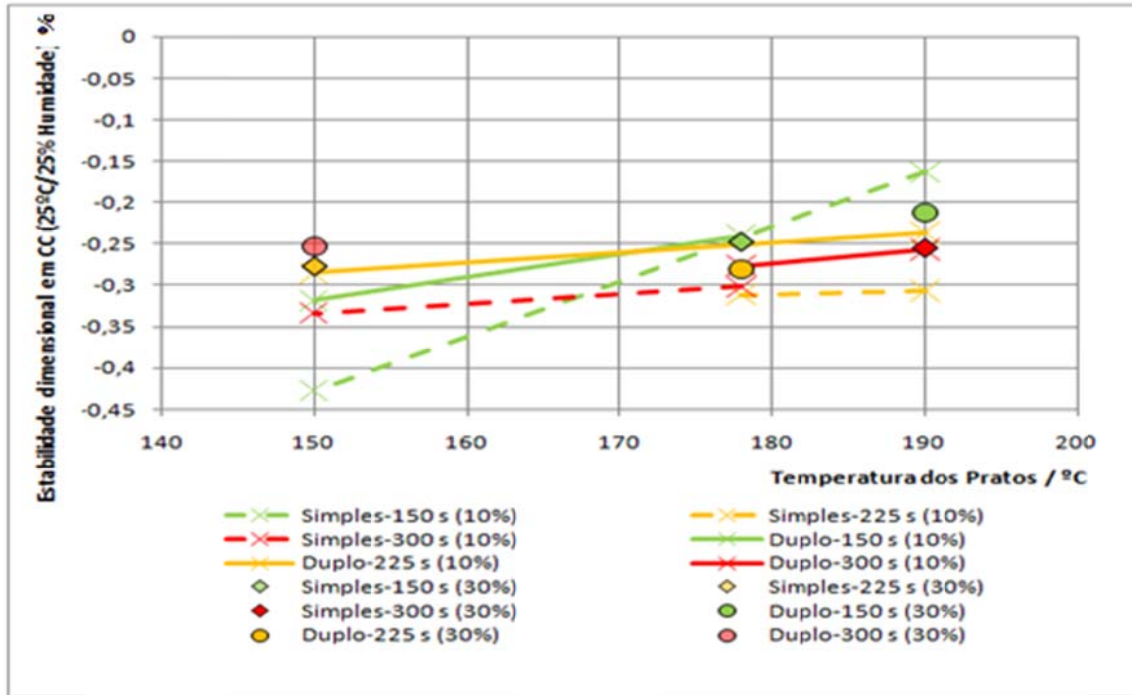


Figura 22 – Estabilidade Dimensional em AC (%) em função da temperatura dos pratos (°C)

Para provetes condicionados em ambiente CC a temperatura de 190°C é a ideal para uma boa estabilidade. O melhor desempenho é obtido para ciclo simples (tracejado), 10% diluição da resina e tempo de produção de 150 segundos. Os ensaios que têm valores que cumprem as especificações do standard industrial para além deste, são ciclo duplo, 225 segundos, 10% diluição (traço contínuo amarelo); ciclo duplo, 150 segundos, 30% diluição (círculo verde); ciclo simples, 300 segundos, 30% diluição (losango vermelho) e ciclo duplo, 300 segundos, 10% diluição (traço contínuo vermelho).

A elevadas temperaturas tem-se melhor comportamento dos provetes em relação a este teste.

4.7.8 Estabilidade Dimensional em AC

A temperatura e o tempo de ciclo são relevantes para a análise do teste.

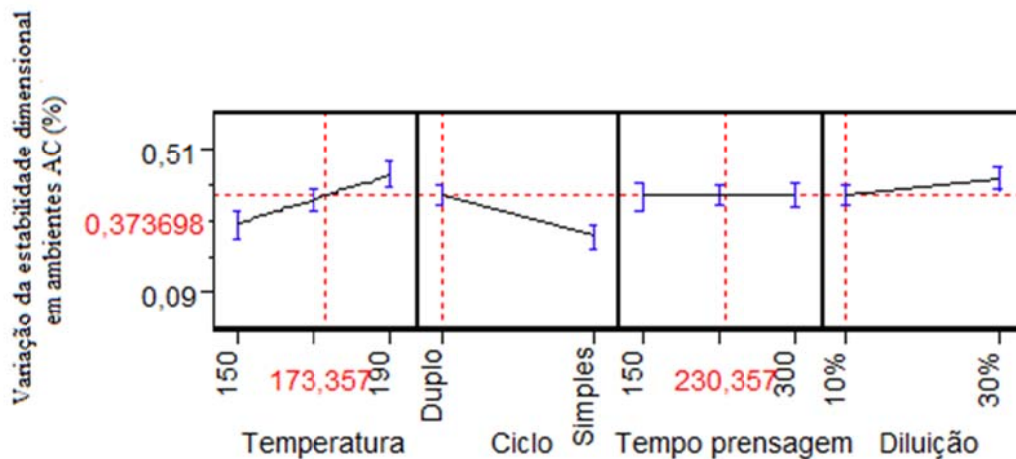


Figura 23 – Análise da Estabilidade dimensional em AC

A uma temperatura menor e ciclo simples encontra-se melhor estabilidade em ambientes a 25°C e 50% de humidade.

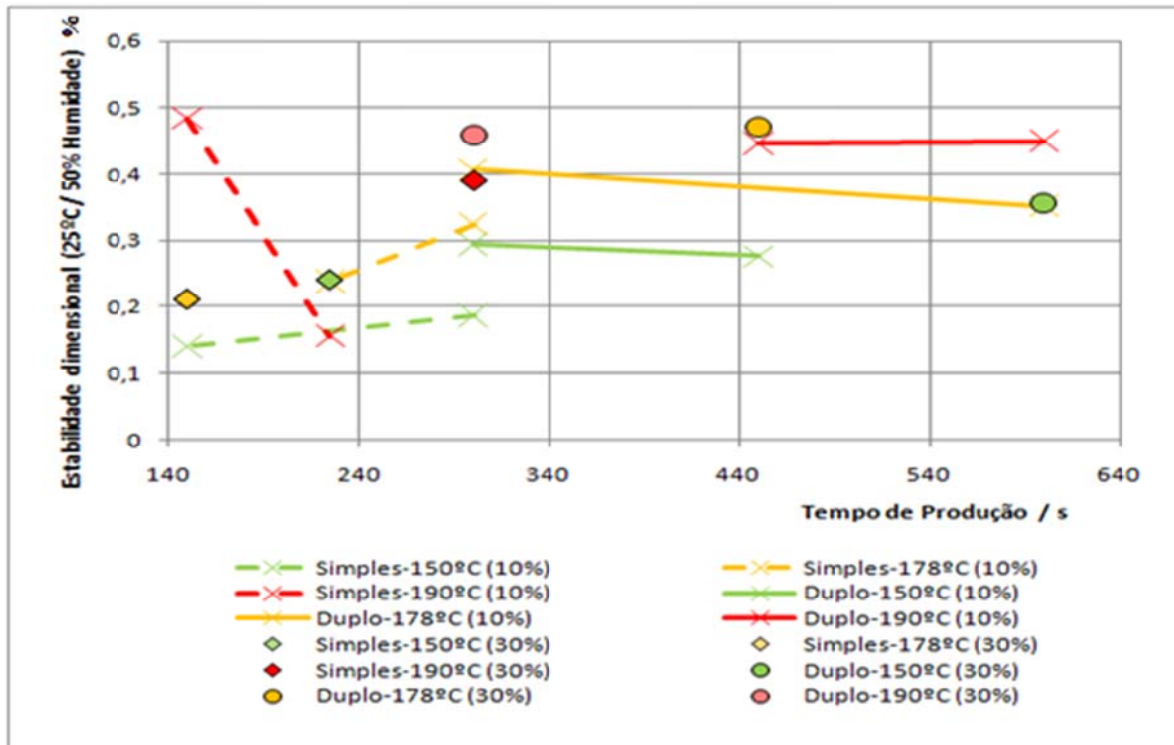


Figura 24 – Estabilidade dimensional em AC (%) em função de tempo de produção (s)

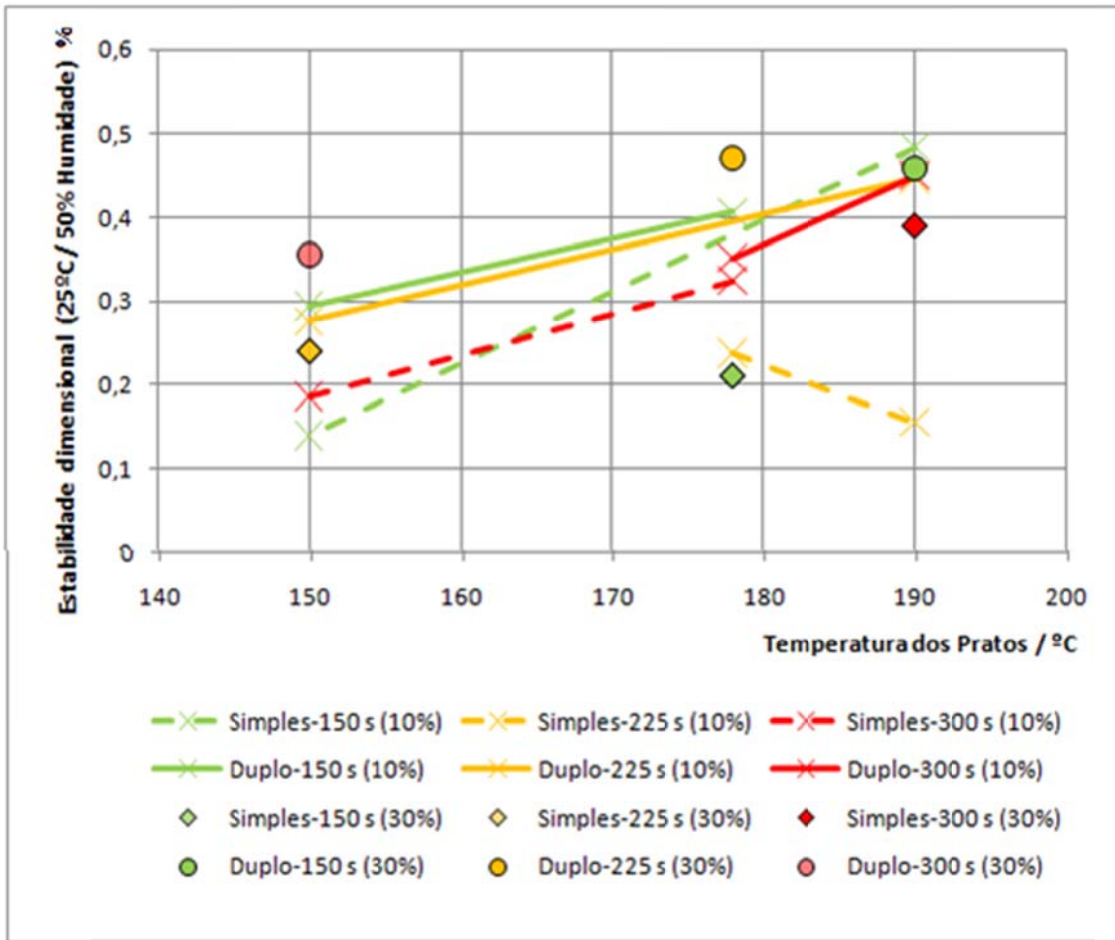


Figura 25 – Estabilidade dimensional em AC (%) em função da temperatura (°C)

O ensaio que possui melhor resposta ao teste de estabilidade em ambiente AC, corresponde a ciclo simples, temperatura mais baixa e 10% diluição da resina (tracejado verde) e o ensaio a 190°C, 10% diluição da resina e menor tempo de produção (tracejado em vermelho) possui uma boa performance no teste.

A menor temperatura de prensagem e tempo de ciclo simples obtém-se tendencialmente um bom desempenho para a estabilidade dimensional em ambiente AC.

4.7.9 Estabilidade dimensional em CH

A temperatura e o tempo de ciclo são fatores significativos para a estabilidade dimensional em ambientes mais úmidos.

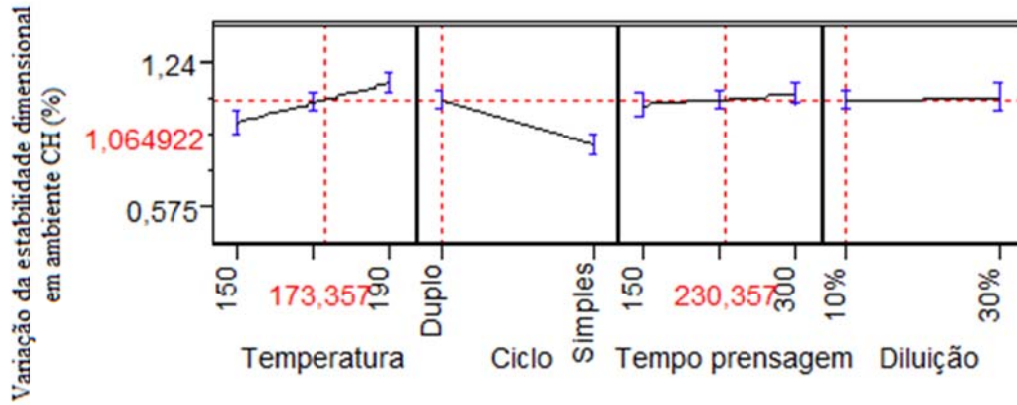


Figura 26 – Análise da estabilidade dimensional em CH

Quanto menor a temperatura e para ciclo simples, melhor será o desempenho do material em ambientes muito húmidos.

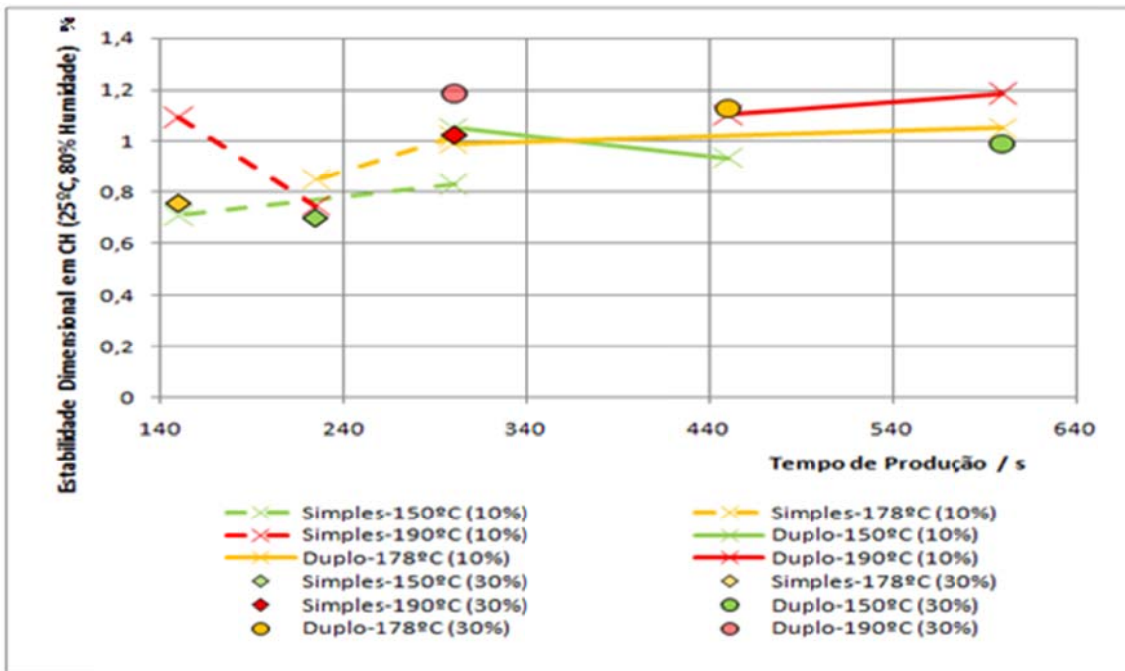


Figura 27 – Estabilidade dimensional em CH (%) em função do tempo de produção (s)

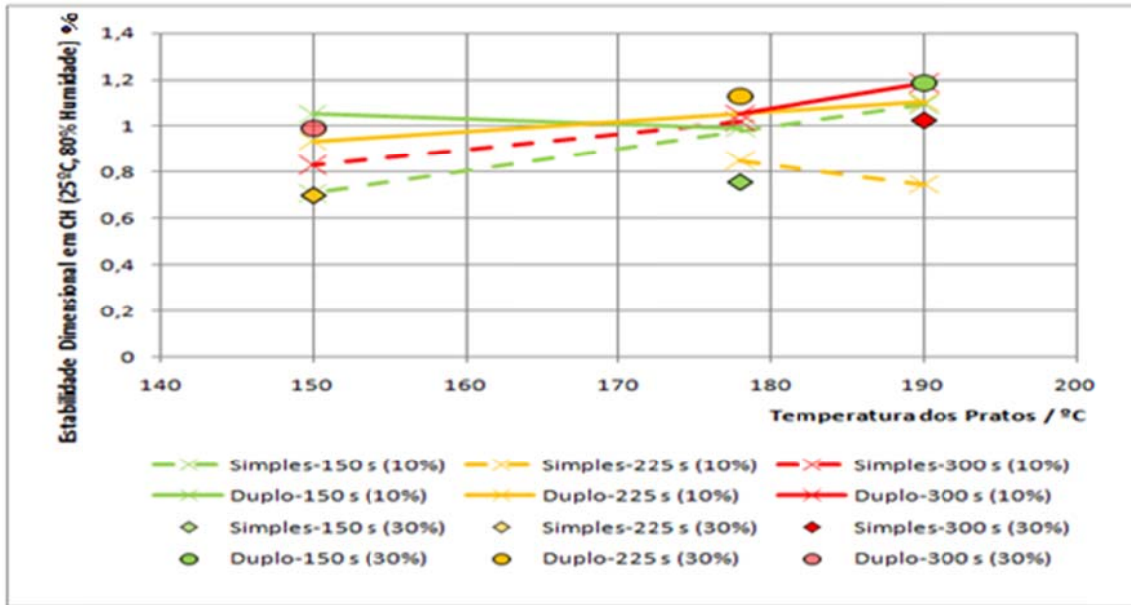


Figura 28 – Estabilidade dimensional em CH (%) em função da temperatura de pratos (°C)

Destacam-se excelentes resultados aos provetes que estão contidos no ciclo simples, temperatura de prensagem de 150°C, diluição da resina em 10% (tracejado verde), temperatura de 190°C, diluição a 10% e maior tempo de produção (tracejado vermelho) e para além de reduzir o tempo de ciclo, consegue-se bom resultado com a diluição da resina a 30%, para temperaturas de prensagem de 178°C (losango amarelo) e de 150°C (losango verde), sendo o último de melhor desempenho.

O ciclo simples e fazendo uso de menores temperaturas obtém-se produtos mais estáveis.

4.7.10 Humidade em CC

A temperatura, tempo de ciclo e de prensagem reflectem influencia na humidade em ambientes mais secos.

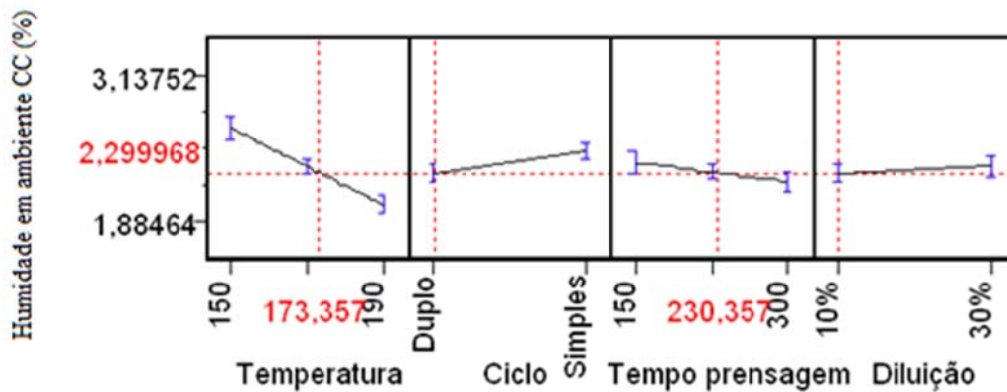


Figura 29 – Análise da humidade em CC

De acordo com a figura, aumentando a temperatura, ciclo duplo de prensagem e quanto maior o tempo de prensagem, menos teor de água (humidade) terá o material que estiver condicionado em ambiente CC (25°C, 25% humidade).

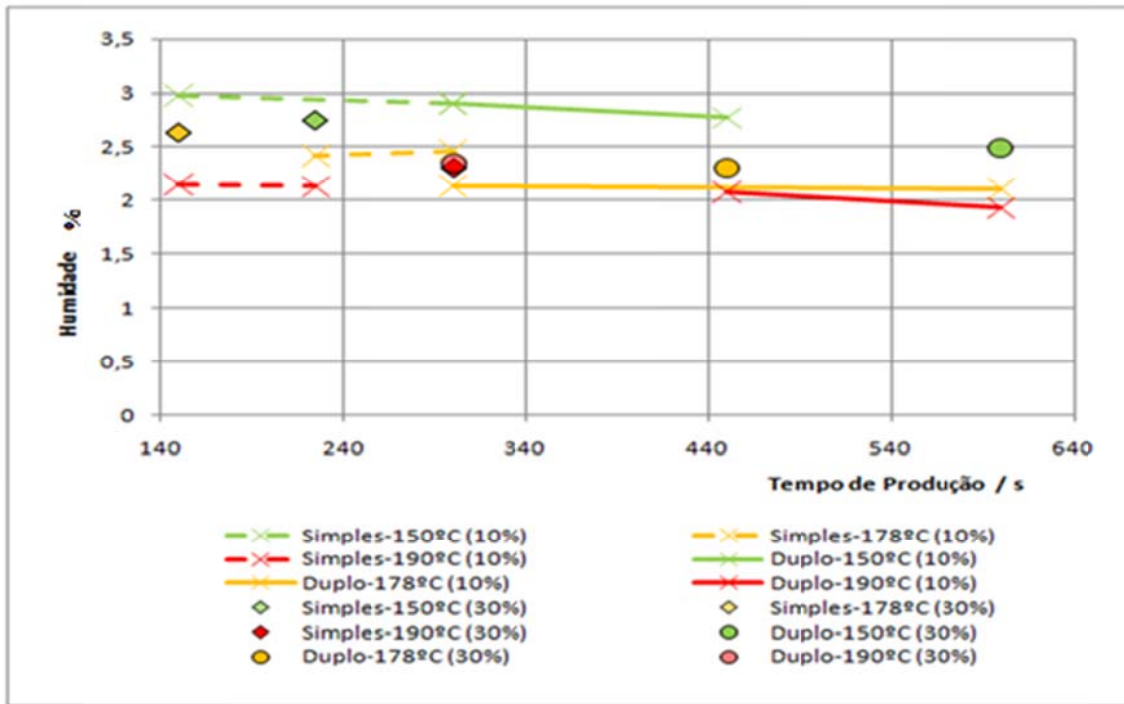


Figura 30 – Humidade em CC (%) em função do tempo de produção (s)

O melhor desempenho neste teste foi o obtido com o maior tempo de produção, temperatura mais alta e menor diluição da resina (traço contínuo vermelho). À temperatura de 178°C e dupla prensagem tem-se também bons valores de humidade, traço contínuo amarelo. A diluição da resina consegue bons valores na dupla prensagem (círculos vermelho e amarelo).

O ciclo duplo, maior tempo de prensagem e maiores temperaturas recaem numa baixa humidade.

4.7.11 Humidade em CH

O tempo de ciclo é importante para a análise de humidade em CH.

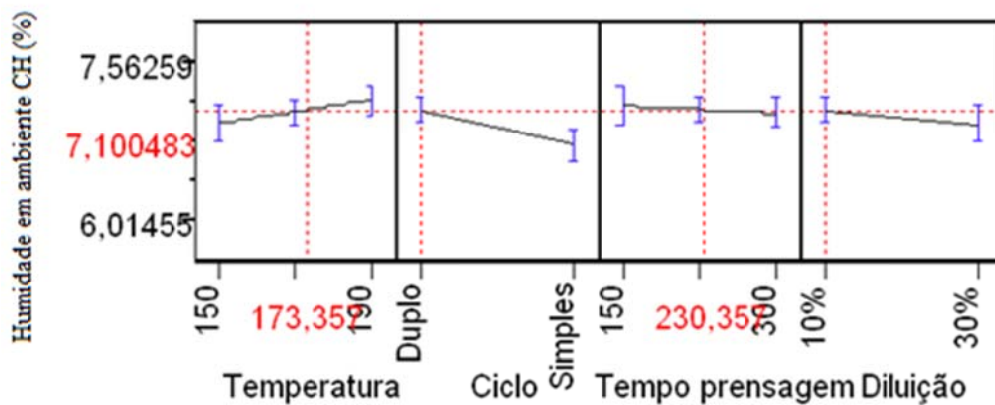


Figura 31 – Análise da humidade em CH

O ciclo simples contribui para uma humidade menor em ambientes muito húmidos. A temperatura mais baixa dá origem a menor humidade em CC.

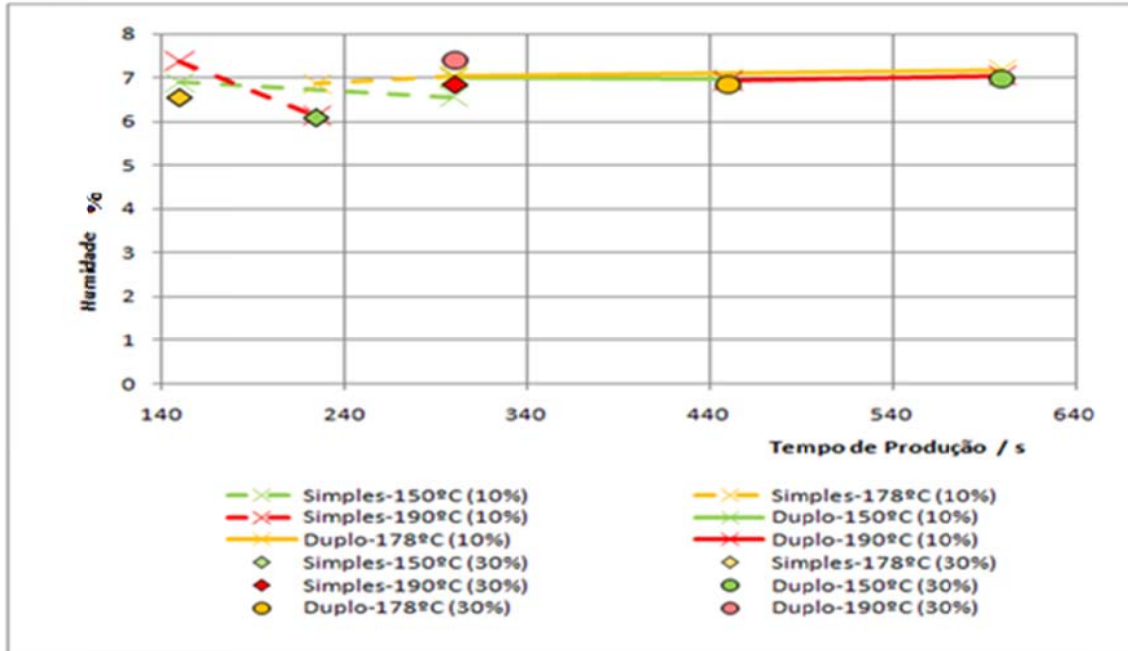


Figura 32 – Humidade em CH (%) em função do tempo de produção (s)

Para ciclo simples tem-se bons resultados de humidade.

Graficamente, observa-se o melhor resultado corresponde ao ensaio realizado à temperatura de 150°C, resina diluída a 30%, ciclo simples e tempo de prensagem de 225s (losango verde). O ensaio realizado com tempo de prensagem, mas a 10% de resina diluída (tracejado vermelho) possui óptima resposta.

4.7.12 Humidade do comportamento ao calor

A temperatura é relevante para a análise do teste.

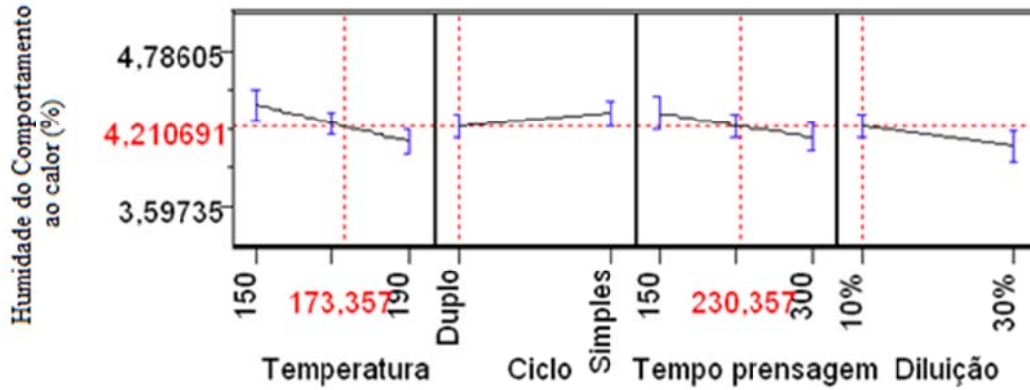


Figura 33 – Análise da humidade do comportamento ao calor

Quanto maior a temperatura, menor a humidade do comportamento ao calor.

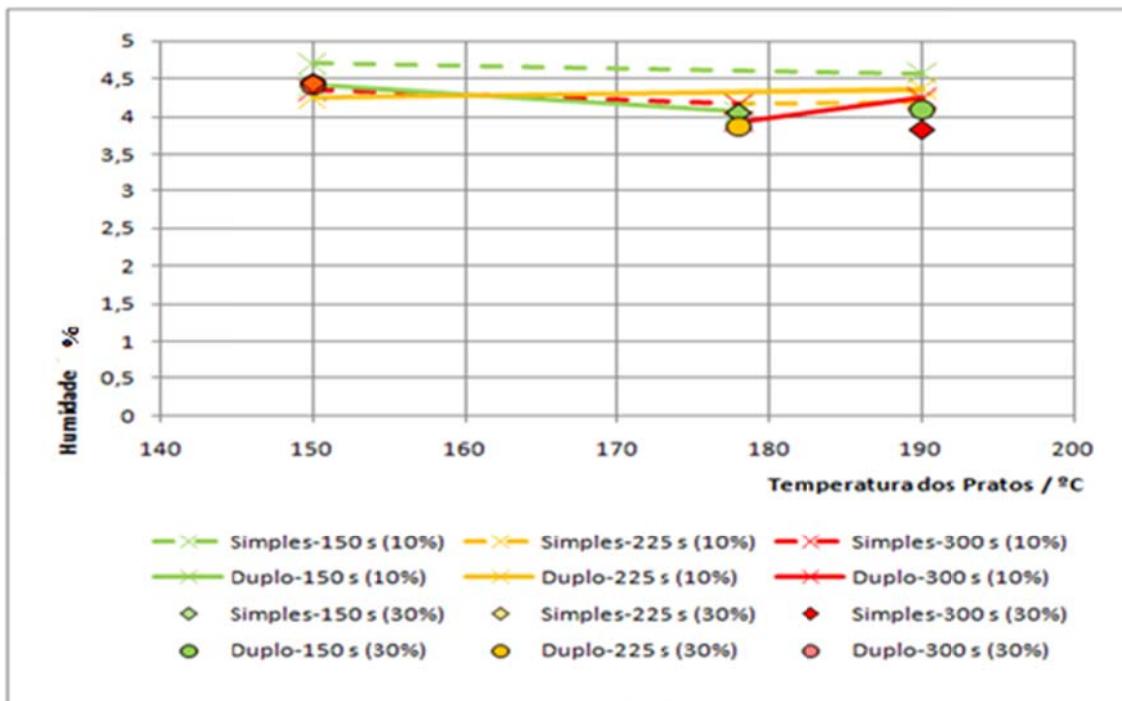


Figura 34 – Humidade do comportamento ao calor (%) em função da temperatura dos pratos (°C)

A uma temperatura mais elevada tem-se menores valores de humidade.

O ensaio que possui menor humidade corresponde a ciclo simples, 30% diluição da resina e tempo de produção de 300 segundos (losango vermelho).

4.7.13 Teor de formaldeído

Série	Temperatura	Tempo de Prensagem	Tempo de Ciclo	Diluição	Teor de Formaldeído (mg/100g de placa seca anidra)
1	150 °C	150 s	Duplo	10%	7
2	150°C	225 s	Duplo	10%	5,4
3	150°C	300 s	Simples	10%	6,4
6	178°C	150 s	Duplo	10%	3,4
14	150°C	225 s	Simples	30%	7,9
18	190°C	300 s	Simples	30%	4

A melhor resposta para o teor de formaldeído encontra-se na série 6, denotando que a uma elevada temperatura e dupla prensagem notam-se menores emissões de formaldeído.

Ao comparar a série 1 e 2, nota-se que usando maior tempo de prensagem, obtêm-se menores teores de formaldeído.

A série 18 possui boa resposta ao teor de formaldeído, e boa performance quanto as modificações processuais, pois eleva-se a temperatura, mas reduz o tempo de ciclo a um só e também se reduz a quantidade de resina.

5. Conclusão

- Para o material ter bons resultados quanto à resistência mecânica (teste de rotura), é necessário o ciclo duplo. Porém, o ciclo simples, contribui para que o material apresente melhor resistência a água, seja mais estável ao calor e quando colocado em ambientes com diferentes condições climáticas.
- Quanto as análises de temperatura, observa-se que trabalhar com temperaturas menores que a usada na indústria pode trazer melhorias quanto a estabilidade do material, podendo ser observado nos resultados obtidos com a temperatura de 150°C, em que se obteve uma boa estabilidade ao calor e em condições de humidades diferentes (25%, 50% e 80% de humidade a temperatura de 25°C).
- A diluição da resina tem efeito sobre os testes de absorção de água: quanto mais diluída a resina, mais o material absorverá água. Entretanto, o peso específico aumenta com a condição de maior diluição.
- O tempo de prensagem é importante para garantir uma melhor resistência mecânica e para se obter maiores densidades.
- O teor de formaldeído é mais elevado para temperaturas mais baixas.
- Os testes de estabilidade dimensional em ambientes AC,CC e CH possuem desvios significativos quando comparados com o Standard por possuírem teores de água iniciais mais elevados que o material industrial, pois os provetes laboratoriais foram pré-condicionados durante uma semana em ambiente à temperatura 20°C e 65% de humidade relativa.
- Possíveis desvios dos valores laboratoriais em relação aos fabris, podem também ser devidos ao programa de prensagem, já que o programa tem um fecho na primeira fase (correspondente à prensa 1 industrial) mais lento.

6.Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objectivos Realizados

Estudo da temperatura, tempo de ciclo, tempo de prensagem e quantidade de resina no fabrico de aglomerados de cortiça para revestimentos de piso. Depois de uma série de testes realizados a diferentes condições, obteve-se um bom estudo do comportamento dessas variáveis no produto.

6.2 Limitações e Trabalho Futuro

É necessário melhorar o comportamento da prensa usada no laboratório, tentando aproximar ao máximo da prensagem industrial. Não foi utilizado um tecido poroso por debaixo dos provetes no momento da prensagem, fez-se uso de papel alumínio, podendo reflectir ao teste de teor de formaldeído, já que o uso do tecido poroso auxilia na dispersão do formaldeído quando prensado.

6.3 Apreciação final

O trabalho me proporcionou um rico aprendizado sobre a indústria da cortiça, no que se remete ao uso como revestimentos de piso, acompanhei toda a linha de produção da Amorim Revestimentos, desde a chegada da matéria-prima até a embalagem do produto para fornecimento ao mercado. Tendo em vista todo o processo fabril, percebendo os parâmetros mais importantes a cada processo, realizei um estudo a fundo sobre o processo de fabrico do 3,5 IN, para então o reproduzir em laboratório e estudar a influência da temperatura, tempo de prensagem, tempo de ciclo e efeito da diluição da resina sobre este material, um dos mais produzidos industrialmente na Amorim Revestimentos.

7. Referências Bibliográficas

- (1) Figura do sobreiro, retirada de (http://2.bp.blogspot.com/_xhnhx97vxOk/SrdCQqF2gBI/AAAAAAAAAEw/zw0A75k9b2c/s400/Quercus_suber_algarve.jpg), acesso no dia 5 de Julho de 2011.
- (2) Gil, L. A cortiça como material de construção, Manual Técnico. APCOR – Associação Portuguesa de cortiça, Santa Maria de Lamas – Portugal, 2007.
- (3) Fortes, M.A, Pereira, H., Rosa, M.E. A cortiça. Instituto Superior Técnico, Lisboa – Portugal, 2006
- (4) Intelecto, Ciência e Tecnologia dos Materiais. Universidade de Trás dos Montes e Alto Douro, Gondomar, 1988.
- (5) Figura 2 - Cortiça: composição e estrutura das paredes celulares suberosas, (site:http://www.isa.utl.pt/def/files/files.2007/File/disciplinas/tpf/EPMC1_Cortica4.pdf), consulta retirada no dia 25 de Maio de 2011.
- (6) Figura 3 e 4, fotografias da prensa e da encoladora, respectivamente, tiradas no laboratório do Departamento de Engenharia Química da FEUP no dia 5 de Julho de 2011.
- (7) Dessipri, E., Mouratidis, P.I., Pizzi, A. Artigo científico, New Adhesive System for Improved Exterior-Grade Wood Panels, Wood Panels 2000.
- (8) Tohmura, S., Inoue, A., Sahari, S.H. Artigo científico, Influence of the melamine content in melamine-urea-formaldehyde resins on formaldehyde emission and cured resin structure, Japan Wood Research Society 2001, 2000.
- (9) International Agency for research in cancer, (<http://www.iarc.fr>), acesso no dia 5 de julho de 2011
- (10) EPA, An introduction to indoor air quality (IAQ), (<http://www.epa.gov/iaq/formalde.html>), acesso no dia 3 de julho de 2011.
- (11) Norma NP EN120, Norma Portuguesa, Placas de derivados de madeira. Determinação do teor de formaldeído. Método de extracção dito método do perforador, 2002.

ANEXO 1 – DESCRIÇÃO DOS TESTES DE CONTROLE DE QUALIDADE

1.1 Peso Específico (Norma interna)

Aferir a medida do volume do material, fazer medição de comprimento e largura com o auxílio do paquímetro e aferir a medida da espessura com um comparador, o volume obtêm-se pela multiplicação das medidas do comprimento, largura e espessura.

a) Aferir a massa do material com o auxílio de uma balança analítica com duas casas decimais.

Com esses dados, efectuar o cálculo:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Sendo a unidade dada em kgf/m³.

1.2 Absorção a água (Norma interna)

Modo de Proceder

- a) Cortar provetes na dimensão 5x5 cm.
- b) Marcar pontos de leitura nos provetes.
- c) Pesar provetes na balança, anotar o valor com duas casas decimais (Massa inicial).
- d) Fazer a leitura das espessuras nos pontos indicados e determinar a média das leituras efectuadas (Espessura inicial).
- e) Mergulhar provetes em banho-maria a 25°C, durante 48 horas.
- f) Retirar provetes do banho-maria e colocar sobre papel filtro, durante 15 minutos.
- g) Fazer a leitura da massa dos provetes (Massa final).
- h) Fazer a leitura das espessuras nos pontos indicados e determinar a média desses pontos (espessura final).
- i) Após a 1ª leitura, deixar repousar os provetes durante 24h. Determinar novamente a massa e espessura dos provetes.
- j) Determinar a média do peso e da espessura final para todos os provetes. Calcular a média da absorção em peso e espessura para todos os provetes.

Cálculos:

$$\text{Absorção em Peso} : \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Absorção em Espessura} : \frac{E_f - E_i}{E_i} \times 100 \quad (3)$$

Resultados dados em percentagem (%).

1.3 Água fervente (Norma interna)

Modo de Proceder

- a) Cortar provetes na dimensão 5x5 cm.
- b) Marcar pontos de leitura nos provetes.
- c) Pesar provetes na balança, registar o valor com duas decimais (Massa inicial- Mi).
- d) Leitura das espessuras nos pontos indicados e determinar a média das leituras efectuadas (Espessura média inicial- Ei).
- e) Mergulhar provetes em água a 100°C, durante 15 minutos.
- f) Retirar provetes e colocar sobre papel de filtro, durante 15min.
- g) Leitura da massa dos provetes (Massa final Mf).
- h) Leitura das espessuras nos pontos indicados e determinar a média das leituras efectuadas (Espessura médio final- Ef).
- i) Análise visual do material.

Cálculos:

$$\text{Absorção em Peso} : \frac{Pf - Pi}{Pi} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Absorção em Espessura} : \frac{Ef - Ei}{Ei} \times 100 \quad (5)$$

Resultados dados em percentagem (%).

1.4 Tensão de rotura (Norma interna)

Aparelhos e Utensílios

Máquina para ensaios de tracção (célula de carga de 1N, munido de 2 maxilas, sendo uma fixa e outra móvel, distantes 12mm; a maxila móvel deve deslocar-se sem carga, à velocidade de 300mm/min.).

- Modo de Proceder
- a) Cortar os provetes com 10cm x 5cm.
 - b) Fixar cada provete nas maxilas da máquina, no sentido do comprimento.
 - c) Pôr a máquina em funcionamento.

O valor da força que provocou a rotura é indicada directamente no computador, em daN/cm² e no visor do aparelho em N.

Deve-se rejeitar os resultados cuja rotura do provete se verifique junto às maxilas, e ensaiar outro provete.

1.5 Teor de água (Norma interna)

Aparelhos e Utensílios

- Balança
- Estufa
- Recipientes / Suportes
- Excicador

Modo de Proceder

- a) Cortar os provetes em 150 x 150 (mm) de cada amostra;
- b) Pesar cada um dos provetes (M_i);
- c) Coloca-se na estufa a $103 \pm 5^\circ\text{C}$ durante um tempo de 4 horas;
- d) Colocar no excicador, até arrefecer;
- e) Pesar novamente (M_f).

Cálculo e expressão dos resultados

O teor de água é dado por:

$$HR(\%) = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100 \quad (6)$$

M_i - Massa inicial do provete

M_f - Massa final do provete

Os resultados são expressos em percentagem (%), arredondados às décimas e registam-se nos impressos correspondentes.

1.6 Determinação das dimensões e esquadrias (Norma interna)

Aparelhos e Utensílios

- Planos inclinados com comparadores (resolução 0,01mm);
- Mesa de medição (mesa em cruz: 3 eixos);

- Padrão de Topo;
- Régua Padrão;
- Esquadro;
- Paquímetro.

Modo de proceder

- a) Ligar os comparadores digitais.
- b) Levantar as patilhas de segurança.
- c) Colocar a régua padrão.
- d) Levar os comparadores a zero.
- e) Levantar as patilhas de segurança.
- f) Colocar a placa e baixar as patilhas.
- g) Registrar os valores obtidos nos comparadores, premindo o botão.
- h) Rodar a placa e baixar as patilhas.
- i) Registrar os valores obtidos nos comparadores, premindo o botão.
- j) Aquisição de dados via impressora

Comprimento

- Levantar as patilhas de segurança.
- Colocar a placa e baixar as patilhas.
- Registrar o valor obtido no comparador lateral do lado direito do plano inclinado.
- Rodar o ladrilho e proceder do mesmo modo anteriormente descrito.

Largura

- Levantar as patilhas de segurança.
- Colocar o ladrilho e baixar as patilhas.
- Através dos 3 comparadores colocados na vertical, efectuar 3 leituras à largura de uma aresta.
- Registrar os valores obtidos premindo nos botões respectivos.

1.7 Estabilidade dimensional ao calor (NP EN434)

Aparelhos e Utensílios

- Estufa ventilada;
- Paquímetro com resolução de 0.01mm;
- Zona climatizada a $50 \pm 5\%$ e 23 ± 2 °C;

- Plano inclinado com comparadores de resolução 0.01 mm;
- Pratos metálicos;

Modo de proceder

- a) Medem-se as dimensões da placa /ladrilho, com ajuda do plano inclinado, marcar 3 medidas de largura e 2 medidas de comprimento no primeiro dia do teste.
- b) Colocam-se os provetes na estufa a 80 ± 5 °C, durante 6 horas
- c) Ao fim deste tempo retira-se os provetes da estufa, ficando na zona climatizada, durante 7 dias.
- d) Ao fim dos 7 dias, faz-se à leitura novamente do comprimento e largura e a partir destes valores tem-se o encurvamento ao calor.

Cálculo e expressão dos resultados

Estabilidade Dimensional

A estabilidade dimensional ao calor de cada ladrilho /placa é dada em (%) e arredondada às centésimas e é dada por:

$$D \% = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100 \quad L = \text{Leitura} \quad (7)$$

Nota: Valores positivos para crescimento do para crescimento do material e valores negativos para retracção do material.

Os resultados da estabilidade dimensional é a média dos ladrilhos/placas e exprime-se em %, arredondado à décima.

Encurvamento (curling)

Ao valor inicial do encurvamento subtrair o valor nominal da espessura e se existir subtrair o valor inicial de encurvamento.

O encurvamento ao calor para cada ladrilho /placa é o valor médio das quatro leituras, com precisão de uma casa decimal.

1.8 Estabilidade dimensional em ambientes AC, CC e CH

As dimensões requeridas para o ensaio de estabilidade dimensional dependem do produto em estudo. Sempre que se tratar dum produto final e sempre que possível efectuar o ensaio na sua dimensão standard.

Caso contrário cortar os provetes nas dimensões indicadas na descrição do processo de laboratório.
Determinar o teor de água dos provetes.

Modo de proceder

- a) Ler comprimento e largura dos ladrilhos, utilizando sempre que possível um plano inclinado adequado. As leituras são registadas no microprocessador.
- b) Caso não seja possível utilizar o plano inclinado as leituras são efectuadas com paquímetro e registadas no ladrilho respectivo.
- c) Colocar os ladrilhos identificados nos diferentes climas em estudo:
 - Clima AC - 50 %de Humidade Relativa e 25°C
 - Clima CC - 25 % de Humidade Relativa e 25°C
 - Clima ET - 80% de Humidade Relativa e 25°C
- d) As leituras são feitas nos mesmos pontos iniciais.

Na primeira semana efectuar leituras diárias, a duração do ensaio e frequência de leitura após a 1ª semana é definida caso a caso.

- e) Determinar a humidade em aproximadamente 30% dos ladrilhos de cada clima.

1.9 Determinação de formaldeído

Valor de perforador – teor de formaldeído

A emissão de formaldeído a partir de placas de madeira depende de diferentes factores, como a idade das placas, condições de envelhecimento, teor de água, dentre outros, no momento do ensaio.

Métodos do perforador (NP EN 120)

O princípio do método é a extracção de formaldeído de amostras por meio de tolueno em ebulição e a seguir, há a transferência do extracto para água destilada ou mineralizada. O método da acetilacetona por espectro fotometria UV é usado para determinar o teor de formaldeído da solução anterior.

1.9.1 Amostragem

Retirar 12 provetes (25mm x 25mm x espessura da placa) para a determinação do teor de água e um número de provetes suficientes das mesmas dimensões, de maneira a se ter 110 g de placa para a extracção por perforador.

Determinação do teor de água

- a) Determinar o teor de água em duplicado numa amostra de pelo menos 4 provetes (25 mm x 25 mm).

b) Pesar a amostra com uma exatidão de 0.1 % sobre o vidro de relógio e secá-la na estufa a uma temperatura de (103) °C até massa constante.

Considera-se massa constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas, efectuadas com 6 horas de intervalo não diferem mais de 0,1 % em relação à massa dos provetes.

c) A amostra, após ter sido retirada da estufa, deve ser arrefecida, antes de ser pesada de novo.

Cálculos do teor de água

Teor de água

O teor de água da placa de derivados de madeira é dado pela fórmula:

onde:

$$H = \frac{m_1 \times m_0}{m_0} \times 100 \quad (8)$$

No qual,

m_1 é a massa dos provetes antes da secagem, em gramas;

m_0 é a massa dos provetes depois da secagem, em gramas.

1.9.2 Extração por perforador

Procedimento experimental

- Pesar cerca de 110 g de provetes. com uma exactidão de 0.1 g, e introduzi-los no balão.
- Adicionar 600 ml de tolueno e ligar o balão ao corpo do perforador.
- Deitar cerca de 1000 ml de água destilada no corpo do perforador., garantindo uma margem de 20 mm a 30 mm entre o nível superior da água e a saída do sifão. A seguir ligar o refrigerador e o dispositivo de absorção de gases.
- Deitar cerca de 100 ml de água destilada no balão do dispositivo de absorção de gases e ligá-lo ao aparelho.

Quando todo o aparelho estiver instalado, ligar a refrigeração e o aquecimento.

Durante toda a extração, o tolueno deve refluir regularmente, a velocidade de 70 gotas a 90 gotas por minuto. Nunca deixar a água do frasco de absorção refluir noutras partes do equipamento durante e após a extração. A extração continua durante 2 h, contadas a partir da passagem das primeiras bolhas através da placa de vidro poroso. O aquecimento deve ser regulado para que este fenómeno ocorra entre 20 minutos a 30 minutos após o começo do aquecimento.

Parar o aquecimento após estas duas horas e desligar o dispositivo de absorção de gases.

Deixar arrefecer a temperatura ambiente. Recolher num balão de 2000 ml a água contida no corpo extrator através da tomeira. Enxaguar o corpo do extractor por duas vezes com 200 ml de água destilada. Adicionar a água da lavagem ao balão e pôr de lado o tolueno. Deitar no balão a água contida no balão do dispositivo de absorção de gases. Perfazer o volume de água até 2000 ml com água destilada.

Um ensaio em branco também deve ser obtido, sem provete, usando tolueno ainda não utilizado, mas do mesmo lote daquele usado para a extração.

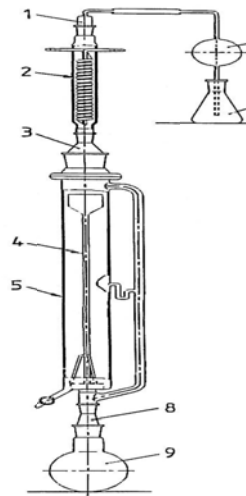


Figura 3 – Equipamento de extração (11)

Legenda:

- 1- Adaptador cônico 29/32
- 2- Refrigerador de serpentina de Dimroth
- 3- Adaptador cônico 45/40 a 71/51
- 4- Placa de vidro poroso
- 5- Perforador
- 6- Duplo tubo de segurança
- 7- Frasco de absorção de 250 ml
- 8- Adaptador cônico 29/32 a 45/40
- 9- Balão de fundo redondo 1000 ml com gargalo esmerilado 45/40

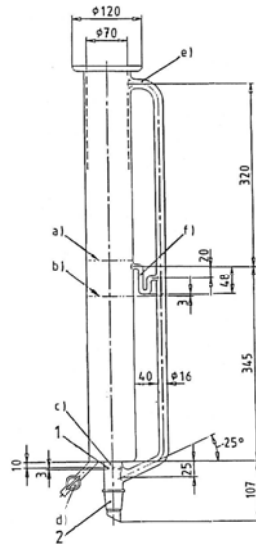


Figura 3- Perforador (11)

Legenda:

- 1- Placa
- 2- Junta esmerilada 29/32
- a) Nível de tolueno
- b) Nível máximo de água
- c) Furo de 4mm de diâmetro
- d) Tubo lateral
- e) Sifão com 8 mm de diâmetro

1.9.3 Método da acetilacetona

Baseia-se na reação de Handtzech, onde o formaldeído em solução aquosa reage com os íons amônio e a acetilacetona, dando origem à diacetilidrolutidina (DDL).

A reação é específica ao formaldeído, sendo a absorvância máxima da DDL de 412 nm.

Reagentes:

Solução de acetilacetona

Deitar 4 ml de acetilacetona num balão volumétrica de 1000 ml e perfazer o volume até a marca com água destilada.

Solução de acetato de amônio

Dissolver 200 g de acetato de amônio em água destilada num balão volumétrica de 1000 ml e perfazer o volume até a marca com água destilada.

Procedimento:

Retirar 10 ml da solução do extracto aquoso com a ajuda de uma pipeta e transferi-los para um frasco de 50 ml. Juntar-lhes 10 ml da solução de acetilacetona e 10 ml da solução de acetato de amônio. Tapar o frasco, agitado e aquecê-lo durante 15 minutos num banho de água aquecido a 40 °C.

Deixar arrefecer à temperatura ambiente, a solução amarelo-esverdeada assim obtida, protegida da influência da luz (cerca de 1 hora). Determinar a absorbância desta solução a um comprimento de onda de 412 nm em relação a água destilada, utilizando um espectrofotômetro. Determinar em paralelo um valor em branco com a água destilada e tomá-lo em consideração quando do cálculo do valor do perforador.

1.9.4 Curva de calibração.

Estabelecer a curva de calibração a partir de uma solução-padrão de formaldeído, cuja concentração tenha sido determinada por titulação iodométrica.

Solução normalizado de formaldeído

As soluções devem ser padronizadas antes da utilização.

Diluir cerca de 2,5g da solução de formaldeído (concentração de 35 % a 40 %) num balão volumétrico de 1000mL e perfazer o volume até it marca com água destilada. A concentração exacta de formaldeído é determinada como segue:

Misturar 20 ml da solução-padrão de formaldeído com 25 ml da solução de iodo e 10 ml da solução de hidróxido de sódio. Após 15 minutos, estando a mistura protegida da luz, adicionar 15 ml de solução de acido sulfúrico. O excesso de iodo é em seguida doseado por titulação de retomo com a solução de tiosulfato. No final da titulação adicionar algumas gotas da solução de amido a título de indicador. Realizar em paralelo um ensaio em branco com 20ml de água destilada.

Calcular o teor de formaldeído de acordo com a seguinte fórmula:

$$c(HCHO) = (V_0 - V) \times 15 [c(Na_2S_2O_3)] \times \frac{1000}{20} \quad (9)$$

onde:

c(HCHO) é a conceituação de formaldeído em mg/L

V₀ é o volume da solução de tiosulfato para o ensaio do branco, em mililitros;

V é o volume da solução de titulação de tiosulfato para o ensaio, em mililitros:

$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ é a concentração da solução de tiosulfato, em mol/L

Solução padrão de formaldeído

Utilizando a concentração determinada acima, calcular o volume que conterá 15mg de formaldeído. Transferir este volume, utilizando uma pipeta para o balão volumétrico de 1000 ml e perfazer o volume até à marca com água destilada. Desta solução padrão, 1 ml contém 15 µg de formaldeído.

Determinação da curva de calibração

- Pipetar zero, 5, 10, 20,50 ou 100mL de solução-padrão de formaldeído para cada um dos seis balões volumétricos de 100mL e perfazer o volume até à marca com água destilada. Realizar a análise espectrofotométrica de 10 ml de cada solução.
- Inscrever no papel milimétrico os valores de absorvância em função das concentrações de formaldeído (entre 0 e 0,015mg/mL). Determinar o declive por gráfico ou cálculo.

1.9.5 Valor do perforador

O teor de formaldeído, denominado “valor do perforador”, é calculado da seguinte forma:

$$\text{Valor do perforador} = \frac{((A_s - A_b) \times f \times (100 + H) \times V)}{m_H} \text{ mg/100g de placa seca anidra} \quad (10)$$

onde:

A_s é a absorvância da solução de extracção analisada;

A_b é a absorvância de uma solução de água destilada ou desmineralizada.

f é o declive da curva de calibração (em mg/mL);

H é o teor de água de uma placa de derivados de madeira, em percentagem.

m_H é a massa dos provetes, em gramas:

V é o volume do balão volumétrico (2000 ml).

Considera-se que o “valor do perforador” de uma placa de madeira é o valor médio dos resultados de duas ou três extrações. Os resultados devem ser expressos com uma casa decimal.

Anexo 2 – Resultados dos experimentos laboratoriais

2.1 Primeiro experimento laboratorial

Determinação do Peso Específico

Tabela 1- Peso específico do primeiro teste laboratorial

Provete	Dimensões (mm)			Massa (g)	Peso específico (kgf/m ³)
	Comprimento	Largura	Espessura		
1	180,55	180,59	5,704	79,89	429,558
2	190,35	189,42	5,668	90,87	444,644
3	190,20	190,18	5,6720	93,16	454,065
4	190,64	190,48	5,5160	98,49	491,705
5	190,07	190,06	4,6400	92,15	549,760
6	190,12	190,13	4,7960	99,65	574,804
7	190,21	190,24	4,8280	94,82	542,747
8	190,01	190,16	4,8920	99,34	562,007
9	190,19	190,37	4,8720	98,38	557,716
10	190,13	190,28	4,8880	95,37	539,308
11	190,11	190,35	4,812	94,66	543,604

Teste de absorção a água

Tabela 2 – Absorção a água do primeiro teste laboratorial

Provetes	Massa Inicial (g)	Espessura Inicial (mm)	Após 48h em água		Após 48h em água + 24h em AC		Variação (%) Após 48h em água		Variação (%) Após 48h em água + 24h em AC	
			Massa (g)	Espessura (mm)	Massa Final (g)	Espessura Final (mm)	Massa	Espessura	Massa	Espessura
9A	7,36	4,95	12,3	6,05	9,1	5,98	67,12	22,22	23,64	20,81
9B	7,15	4,98	12,1	6,3	9	6,2	69,23	26,51	25,87	24,5
9C	6,82	5	12	6,3	8,55	6,15	75,95	26	25,37	23
10A	7	4,98	12	6,15	8,4	6	71,43	23,49	20	20,48
10B	6,88	4,8	11,5	5,95	8,12	5,8	67,15	23,96	18,02	20,83
10C	6,5	5	11,3	6,08	7,83	6	73,85	21,6	20,46	20

MÉDIA	70,79	23,96	22,23	21,60
DESVIO PADRÃO	3,62	1,97	3,19	1,76

Estabilidade dimensional ao calor

Tabela 3 – Estabilidade dimensional ao calor do primeiro teste laboratorial

	Média de comprimento e largura				
	P4	P5	P7	P8	P11
28-03-2011	190,88	190,84	190,94	190,87	190,99
04-04-2011	191,44	191,31	191,23	191,21	191,19
Variação em mm	0,56	0,47	0,29	0,34	0,2
Variação %	0,29	0,25	0,15	0,18	0,10
	Variação Média	0,27		Variação Média	0,14
	Desvio Padrão	0,03		Desvio Padrão	0,04

Tensão Rotura

Tabela 4 – Tensão de rotura do primeiro teste laboratorial

Provete	Tensão rotura (daN/cm ²)
9A	16,93
9B	18,47
10A	19,46
10B	19,79
Média	18,66
Desvio Padrão	1,28

2.2 Segundo Experimento Laboratorial

Determinação do peso específico

Tabela 5 – Peso específico do segundo teste laboratorial

Nº Provete	Dimensões (mm)			Massa (g)	Peso específico (kgf/m ³)
	Comprimento	Largura	Espessura		
13	195,96	195,92	4,36	79,25	473,442
15	196,03	195,74	4,24	77,43	475,928
16	196,05	196,15	4,50	81,65	471,833
17	196,18	196,70	4,62	84,16	472,068
18	195,82	195,80	4,36	80,71	482,804
19	196,07	195,99	4,46	96,28	561,767
20	196,35	195,55	4,52	91,24	525,724
21	195,99	195,94	4,44	96,83	567,897

Teste de absorção a água

Foi realizado o ensaio de absorção a água nos provetes aprovados no teste de peso específico.

Tabela 6 – Absorção de água no segundo teste laboratorial

Provetes	Peso Inicial (g)	Espessura Inicial (mm)	Após 48h em água		Após 48h em água + 24h em AC		Variação (%) Após 48h em água		Variação (%) Após 48h em água + 24h em AC	
			Peso (g)	Espessura (mm)	Peso Final (g)	Espessura Final (mm)	Massa	Espessura	Massa	Espessura
13A	5,78	4,2	10,03	5,5	6,54	5,2	73,53	30,95	13,15	23,81
13B	5,23	4,3	9,09	5,2	5,83	5,2	73,8	20,93	11,47	20,93
15A	5,55	4	9,61	5,1	6,44	5	73,15	27,5	16,04	25
15B	4,9	4,1	9,14	5,2	5,38	5,1	86,53	26,83	9,8	24,39
16A	5,42	4,45	9,55	5,35	6,19	5,4	76,2	20,22	14,21	21,35
16B	6,04	4,48	10,49	5,5	7,14	5,5	73,68	22,77	18,21	22,77
17A	5,41	4,4	9,55	5,4	6,38	5,5	76,52	22,73	17,93	25
17B	5,17	4,45	9,33	5,5	6,17	5,4	80,46	23,6	19,34	21,35
18A	5,39	4,4	9,51	5,4	6,13	5,3	76,44	22,73	13,73	20,45
18B	5,47	4,4	9,64	5,4	6,25	5,3	76,23	22,73	14,26	20,45

Média 13 a 15	76,75	26,55	12,62	23,53
Desvio Padrão 13 a 15	6,52	4,16	2,66	1,80

Média 16 ao 18	76,59	22,46	16,28	21,9
Desvio Padrão 16 ao 18	2,18	1,15	2,48	1,74

Tensão de rotura

Tabela 7 – Tensão de rotura no segundo teste laboratorial

Provetes	Tensão de rotura (daN/cm ²)
13 ^a	16,63
13B	17,3
15 ^a	20,31
15B	19,43
16A	20,7
16B	17,4
17A	19,44
17B	17,8
18A	15
18B	17,2

Média 13 ao 15	18,42
Desvio Padrão	1,74

Média 16 ao 18	17,92
Desvio Padrão	1,97

2.3 Terceiro Experimento Laboratorial

Peso Específico

Tabela 8– Peso específico para terceiro experimento

Serie	Ensaio	Temperatura (°C)	Ciclo	Tempo (s)	Diluição	Programa de Prensagem	Peso Específico (kgf/m³)	Desvio
1	10	150	Duplo	150	10%	C09.E0	552.60	1.55
2	12	150	Duplo	225	10%	C09.E0	537.70	1.63
3	14	150	Simples	300	10%	C11.E0	490.30	1.99
4	16	150	Simples	150	10%	C11.E0	352.31	2.60
5	18	178	Duplo	300	10%	C09.E0	493.05	2.92
6	20	178	Duplo	150	10%	C09.E0	483.10	2.12
7	22	178	Simples	225	10%	C11.E0	439.63	3.56
8	24	178	Simples	300	10%	C11.E0	473.58	3.84
9	26	190	Duplo	225	10%	C09.E0	488.15	2.31
10	28	190	Duplo	300	10%	C09.E0	494.80	3.22
11	30	190	Simples	225	10%	C11.E0	488.50	2.94
12	32	190	Simples	150	10%	C11.E0	380.15	2.67
13	34	150	Duplo	300	30%	C09.E0	535.60	2.02
14	36	150	Simples	225	30%	C11.E0	474.20	3.86
15	38	178	Duplo	225	30%	C09.E0	530.61	2.82
16	40	178	Simples	150	30%	C11.E0	466.84	2.02
17	42	190	Duplo	150	30%	C09.E0	535.20	2.05
18	44	190	Simples	300	30%	C11.E0	535.20	2.05

Tabela 9 – Absorção à água do terceiro ensaio laboratorial

Prov.	Massa Inicial (g)	Esp. Inicial (mm)	Após 48h em água		Após 48h em água + 24h em AC		Variação (%) Após 48h em água		Variação (%) Após 48h em água + 24h em AC	
			Peso	Espessura	Peso Final	Esp. Final	Peso	Espessura	Peso	Espessura
108A	4.73	3.60	7.41	4.35	5.46	4.25	56.66	20.83	15.43	18.06
108B	4.57	3.60	7.45	4.25	5.31	4.2	63.02	18.06	16.19	16.67
108C	5.07	3.60	7.75	4.30	5.91	4.25	52.86	19.44	16.57	18.06
127A	4.24	3.55	6.95	4.35	5.01	4.2	63.92	22.54	18.16	18.31
127B	3.89	3.45	6.72	4.05	4.53	3.95	72.75	17.39	16.45	14.49
127C	3.77	3.60	6.15	4.25	4.19	4.25	63.13	18.06	11.14	18.06
146A	3.66	3.40	5.74	3.85	4.07	4.25	56.83	13.24	11.20	25.00
146B	4.20	3.35	6.25	3.90	4.6	3.9	48.81	16.42	9.52	16.42
146C	3.81	3.40	5.70	3.95	4.2	3.9	49.61	16.18	10.24	14.71
168A	3.75	4.30	7.23	4.70	4.33	4.55	92.80	9.30	15.47	5.81
168B	4.15	4.30	x	x	x	x	x	x	x	x
168C	4.16	3.70	7.15	4.75	4.88	4.55	71.88	28.38	17.31	22.97
187A	4.53	3.70	7.50	4.65	5.35	4.55	65.56	25.68	18.10	22.97
187B	4.58	3.70	7.65	4.60	5.41	4.5	67.03	24.32	18.12	21.62
187C	4.32	3.70	7.28	4.45	5.13	4.45	68.52	20.27	18.75	20.27
207A	4.29	3.65	6.84	4.40	4.94	4.3	59.44	20.55	15.15	17.81
207B	4.55	3.60	7.04	4.50	5.43	4.4	54.73	25.00	19.34	22.22
207C	4.41	3.70	6.90	4.40	5.26	4.35	56.46	18.92	19.27	17.57
224A	3.61	3.60	5.79	4.00	4.04	3.95	60.39	11.11	11.91	9.72
224B	4.17	3.60	6.56	4.10	4.86	4.05	57.31	13.89	16.55	12.50
224C	4.16	3.60	6.54	4.10	4.76	3.95	57.21	13.89	14.42	9.72
254A	4.48	3.55	7.18	4.25	5.14	4.2	60.27	19.72	14.73	18.31
254B	4.55	3.55	7.27	4.25	5.33	4.15	59.78	19.72	17.14	16.90
254C	4.52	3.50	7.30	4.05	5.28	4	61.50	15.71	16.81	14.29

Prov.	Massa Inicial(g)	Esp. Inicial (mm)	Após 48h em água		Após 48h em água + 24h em AC		Variação (%) Após 48h em água		Variação (%) Após 48h em água + 24h em AC	
			Peso	Espessura	Peso Final	Esp. Final	Peso	Espessura	Peso	Espessura
263A	4.33	3.60	7.24	4.35	5.04	4.2	67.21	20.83	16.40	16.67
263B	4.57	3.65	7.50	4.50	5.34	4.4	64.11	23.29	16.85	20.55
263C	4.09	3.65	6.96	4.25	4.69	4.2	70.17	16.44	14.67	15.07
286A	4.07	3.50	7.01	4.45	4.5	4.2	72.24	27.14	10.57	20.00
286B	3.66	3.60	6.51	4.40	4.13	4.25	77.87	22.22	12.84	18.06
286C	3.93	3.45	6.90	4.30	4.45	4.1	75.57	24.64	13.23	18.84
301A	3.69	3.70	6.69	4.35	4.28	4.3	81.30	17.57	15.99	16.22
301B	4.41	3.70	7.59	4.45	5.28	4.35	72.11	20.27	19.73	17.57
301C	4.60	3.70	7.63	4.35	5.41	4.3	65.87	17.57	17.61	16.22
326A	3.17	3.35	5.27	3.75	3.62	3.75	66.25	11.94	14.20	11.94
326B	3.01	3.40	5.03	3.70	3.38	3.6	67.11	8.82	12.29	5.88
326C	3.14	3.30	5.01	3.80	3.54	3.6	59.55	15.15	12.74	9.09
348A	4.26	3.35	7.52	4.15	4.93	4	76.53	23.88	15.73	19.40
348B	4.15	3.35	7.25	4.20	4.84	4.1	74.70	25.37	16.63	22.39
348C	4.40	3.40	7.65	4.35	5.04	4.25	73.86	27.94	14.55	25.00
376A	3.99	3.40	6.37	3.90	4.58	3.95	59.65	14.71	14.79	16.18
376B	3.82	3.40	6.03	3.90	4.3	3.95	57.85	14.71	12.57	16.18
376C	3.83	3.40	6.01	4.15	4.34	4	56.92	22.06	13.32	17.65
396A	3.83	3.40	6.72	4.15	4.39	4.05	75.46	22.06	14.62	19.12
396B	3.11	3.40	6.05	4.10	3.56	4	94.53	20.59	14.47	17.65
396C	3.38	3.40	6.19	4.20	3.89	4.15	83.14	23.53	15.09	22.06
416A	4.07	3.40	6.42	3.90	4.73	3.95	57.74	14.71	16.22	16.18

Prov.	Massa Inicial(g)	Esp. Inicial (mm)	Após 48h em água		Após 48h em água + 24h em AC		Variação (%) Após 48h em água		Variação (%) Após 48h em água + 24h em AC	
			Peso	Espessura	Peso Final	Esp. Final	Peso	Espessura	Peso	Espessura
416B	4.02	3.45	6.31	3.95	4.55	3.9	56.97	14.49	13.18	13.04
416C	4.20	3.50	6.53	4.05	4.9	4.1	55.48	15.71	16.67	17.14
423A	4.82	3.45	7.92	4.25	5.62	4.15	64.32	23.19	16.60	20.29
423B	4.36	3.45	7.47	4.10	5.08	4	71.33	18.84	16.51	15.94
423C	4.41	3.50	7.45	4.20	5.19	4.1	68.93	20.00	17.69	17.14
448A	3.98	3.40	6.74	4.10	4.65	4.05	69.35	20.59	16.83	19.12
448B	4.52	3.50	7.35	4.30	5.37	4.15	62.61	22.86	18.81	18.57
448C	4.66	3.50	7.42	4.45	5.47	4.3	59.23	27.14	17.38	22.86

Teste de água fervente

Tabela 10 – Teste de água fervente para o terceiro ensaio laboratorial

Nº	Antes de água fervente		Depois de água fervente		Variação (%)	
	Peso Inicial (g)	Espes. Inicial (mm)	Peso final (g)	Espes. Final (mm)	Peso	Espessura
106A	4.84	3.6	8.4	5.95	73.55	65.28
106B	4.55	3.6	7.51	5.7	65.05	58.33
106C	4.23	3.6	7.53	5.4	78.01	50.00
126A	4.05	3.55	6.18	5.2	52.59	46.48
126B	3.56	3.45	5.52	4.9	55.06	42.03
126C	4.62	3.6	7.89	5.4	70.78	50.00
145A	3.49	3.4	5.16	4.6	47.85	35.29
145B	3.73	3.45	5.73	4.85	53.62	40.58
145C	3.98	3.45	6.2	4.85	55.78	40.58
164A	3.69	4.05	5.7	4.9	54.47	20.99
164B	3.71	4.15	6.43	5.2	73.32	25.30

N°	Antes de água fervente		Depois de água fervente		Variação (%)		
	Provete	Peso Inicial (g)	Espes. Inicial (mm)	Peso final (g)	Espes. Final (mm)	Peso	Espessura
164C		3.39	4.15	5.95	5.3	75.52	27.71
185A		4.62	3.7	6.95	5.4	50.43	45.95
185B		4.25	3.7	6.84	5.5	60.94	48.65
185C		4.75	3.8	7.09	5.45	49.26	43.42
205A		4.42	3.7	6.34	5.2	43.44	40.54
205B		4.19	3.7	6.12	5.25	46.06	41.89
205C		3.78	3.5	5.82	5.1	53.97	45.71
227A		2.99	3.6	4.62	4.65	54.52	29.17
227B		4.36	3.7	5.94	4.9	36.24	32.43
227C		3.63	3.6	4.93	4.7	35.81	30.56
252A		4.03	3.55	6.04	5.1	49.88	43.66
252B		4.29	3.6	6.56	5.05	52.91	40.28
252C		4.87	3.65	7.14	5.1	46.61	39.73
262A		4.66	3.65	7.36	5.3	57.94	45.21
262B		4.02	3.5	6.38	4.95	58.71	41.43
262C		4.01	3.6	5.86	4.9	46.13	36.11
285A		4.05	3.45	6.1	5.15	50.62	49.28
285B		4.47	3.7	6.86	5.3	53.47	43.24
285C		3.95	3.70	6.47	5.55	63.80	50.00
305A		3.89	3.55	6.88	4.85	76.86	36.62
305B		3.59	3.60	6.71	4.75	86.91	31.94
305C		4.22	3.75	7.82	5.10	85.31	36.00
327A		2.75	3.40	4.76	3.65	73.09	7.35
327B		2.81	3.35	4.87	3.85	73.31	14.93
327C		2.68	3.40	4.73	3.65	76.49	7.35
346A		5.27	3.45	9.18	5.35	74.19	55.07
346B		4.73	3.46	8.57	5.10	81.18	47.40
346C		5.30	3.55	9.50	5.10	79.25	43.66
363A		3.33	3.40	5.78	5.15	73.57	51.47
363B		3.63	3.40	6.15	4.95	69.42	45.59
363C		3.80	3.40	6.64	4.85	74.74	42.65
381A		3.47	3.10	6.36	4.40	83.29	41.94
381B		3.62	3.50	6.56	4.90	81.22	40.00
381C		3.88	3.30	6.79	4.85	75.00	46.97

N° Provete	Antes de água fervente		Depois de água fervente		Variação (%)	
	Peso Inicial (g)	Espes. Inicial (mm)	Peso final (g)	Espes. Final (mm)	Peso	Espessura
401A	3.50	3.50	6.10	4.45	74.29	27.14
401B	4.04	3.50	6.66	4.70	64.85	34.29
401C	3.89	3.50	6.65	4.75	70.95	35.71
434A	3.97	3.35	7.21	4.85	81.61	44.78
434B	4.29	3.45	7.48	4.85	74.36	40.58
434C	4.33	3.45	7.02	4.80	62.12	39.13
460A	4.10	3.50	7.54	5.10	83.90	45.71
460B	3.80	3.50	7.04	5.00	85.26	42.86
460C	4.01	3.50	7.25	5.05	80.80	44.29

Tensão de rotura

Tabela 11 – Tensão de rotura para o terceiro experimento laboratorial

N° provete	e (mm)	N(N/mm)	T.R.P.T. (daN/cm ²)
106	3.5	8	22.86
	3.5	6	17.14
	3.5	7.225	20.64
108	3.45	7.2	20.87
	3.45	5.8	16.81
	3.45	6.3	18.26
126	3.6	6.45	17.92
	3.6	6.7	18.61
	3.6	7.45	20.69
127	3.5	7.5	21.43
	3.5	6.25	17.86
	3.5	8.325	23.79
145	3.3	6.6	20.00
	3.3	6.025	18.26
	3.3	6.7	20.30
146	3.35	6.8	20.30
	3.35	6.575	19.63
	3.35	5.675	16.94

Nº provete	e (mm)	N(N/mm)	T.R.P.T. (daN/cm ²)
164	4.15	4.2	10.12
	4.15	4.15	10.00
	4.15	4.075	9.82
168	4.24	3.925	9.26
	4.24	4.825	11.38
	4.24	4	9.43
185	3.62	7.2	19.89
	3.62	6.975	19.27
	3.62	5.3	14.64
187	3.6	7.4	20.56
	3.6	6.95	19.31
	3.6	6.9	19.17
205	3.5	5.3	15.14
	3.5	7.675	21.93
	3.5	5.2	14.86
207	3.5	5.125	14.64
	3.5	7.35	21.00
	3.5	6.425	18.36
224	3.5	5.65	16.14
	3.5	5.9	16.86
	3.5	7.1	20.29
227	3.5	4.9	14.00
	3.5	5.65	16.14
	3.5	6.175	17.64
252	3.5	5.625	16.07
	3.5	5.2	14.86
	3.5	7.275	20.79
254	3.45	4.375	12.68
	3.45	3.6	10.43
	3.45	4.75	13.77
262	3.53	5.175	14.66
	3.53	5.475	15.51
	3.53	6.975	19.76
263	3.53	6.4	18.13
	3.53	5.825	16.50
	3.53	5.525	15.65

Nº provete	e (mm)	N(N/mm)	T.R.P.T. (daN/cm ²)
285	3.55	6.375	17.96
	3.55	5.95	16.76
	3.55	6.725	18.94
286	3.45	5.875	17.03
	3.45	4.025	11.67
	3.45	5.7	16.52
301	3.6	5.8	16.11
	3.6	5.9	16.39
	3.6	4.7	13.06
305	3.6	5.35	14.86
	3.6	4.55	12.64
	3.6	5.7	15.83
326	3.3	3.725	11.29
	3.3	3.575	10.83
	3.3	4.2	12.73
327	3.3	3.5	10.61
	3.3	3.425	10.38
	3.3	3.525	10.68
346	3.45	5.5	15.94
	3.45	4.7	13.62
	3.45	5.55	16.09
348	3.45	4.6	13.33
	3.45	4.95	14.35
	3.45	4.6	13.33
363	3.4	7.25	21.32
	3.4	5.975	17.57
	3.4	5.35	15.74
376	3.4	6.425	18.90
	3.4	7.35	21.62
	3.4	5.725	16.84
381	3.3	7	21.21
	3.3	6.5	19.70
	3.3	4.925	14.92

Nº provete	e (mm)	N(N/mm)	T.R.P.T. (daN/cm ²)
396	3.4	6.15	18.09
	3.4	6.825	20.07
	3.4	4.225	12.43
401	3.4	6.3	18.53
	3.4	6.325	18.60
	3.4	5.85	17.21
416	3.35	5.075	15.15
	3.35	5.5	16.42
	3.35	5.05	15.07
423	3.4	4.95	14.56
	3.4	5.35	15.74
	3.4	5.625	16.54
434	3.4	5.975	17.57
	3.4	6.375	18.75
	3.4	5.525	16.25
448	3.4	6.2	18.24
	3.4	6.075	17.87
	3.4	7.825	23.01
460	3.4	7.5	22.06
	3.4	6.55	19.26
	3.4	5.05	14.85

Teor de água inicial

Tabela 12 – Teor de água inicial para o terceiro experimento laboratorial

Nº provete	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de água inicial (%)
116	84.72	81.9	3.44
118	83.43	80.26	3.94
119	83.76	80.5	4.05
124	82.81	79.75	3.83
133	83.05	80.3	3.42
140	82.56	79.47	3.88
141	69.12	66.49	3.95

Nº provete	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de água inicial (%)
149	69.31	66.75	3.83
154	69.4	66.69	4.06
161	67.61	64.47	4.87
162	67.97	64.89	4.74
182	79.93	77.73	2.83
183	82.07	79.74	2.92
194	80.36	78.02	2.99
201	76.25	73.95	3.11
214	76.15	74.05	2.83
216	76.17	74.05	2.86
235	68.84	66.35	3.75
236	68.66	66.29	3.57
240	69.25	66.44	4.22
244	75.51	72.35	4.36
255	74.03	71.78	3.13
259	72.65	70.57	2.94
272	77.44	74.71	3.65
275	77.21	75.09	2.82
276	77.13	75.09	2.71
284	78.82	76.48	3.05
295	77.49	75.29	2.92
296	82.81	80.51	2.85
311	77.62	75.73	2.49
312	77.66	75.76	2.50
313	77.52	75.59	2.55
321	55.27	53.30	3.69
322	54.45	52.63	3.45
336	55.51	53.54	3.67
349	75.39	72.94	3.35
356	74.89	72.76	2.92
357	75.35	73.05	3.14
361	65.46	62.96	3.97
368	65.36	62.86	3.97
371	65.01	62.60	3.84

Nº provete	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Teor de água inicial (%)
390	77.62	75.56	2.72
398	75.82	73.73	2.83
399	76.12	73.97	2.90
407	67.59	65.27	3.55
413	67.83	65.42	3.68
414	67.55	65.29	3.46
426	77.17	75.00	2.89
432	77.90	75.75	2.83
437	78.20	76.03	2.85
444	73.38	71.45	2.70
453	73.75	71.73	2.81
459	73.66	71.44	3.10

Estabilidade Dimensional ao calor

Tabela 13 – Estabilidade dimensional para o terceiro experimento laboratorial

Placas	07-06-2011			14-06-2011			Resultado	
	Medida 1 inicial (mm)	Medida 2 inicial (mm)	Média inicial (cm)	Medida 1 final (mm)	Medida 2 final (mm)	Média final (cm)	Diferença em mm	Variação %
101	1.63	2.28	15.1955	1.92	2.61	15.2265	0.031	0.204008
112	1.26	2.23	15.1745	1.6	2.56	15.208	0.0335	0.220765
120	2.05	2.47	15.226	2.32	2.75	15.2535	0.0275	0.180612
128	2.06	2.21	15.2135	2.38	2.51	15.2445	0.031	0.203766
135	2.08	2.43	15.2255	2.43	2.73	15.258	0.0325	0.213458
138	2.07	2.46	15.2265	2.38	2.81	15.2595	0.033	0.216727
142	1.28	1.89	15.1585	1.57	2.16	15.1865	0.028	0.184715
144	0.07	1.09	15.058	0.33	1.22	15.0775	0.0195	0.129499
158	1.53	1.99	15.176	1.55	2.15	15.185	0.009	0.059304
163	1.94	2.11	15.2025	2.28	2.45	15.2365	0.034	0.223647
165	1.93	2.26	15.2095	2.23	2.47	15.235	0.0255	0.167658
191	1.85	2.07	15.196	2.27	2.49	15.238	0.042	0.276389
192	1.89	2.16	15.2025	2.3	2.59	15.2445	0.042	0.27627

Placas	07-06-2011			14-06-2011			Resultado	
	Medida 1 inicial (mm)	Medida 2 inicial (mm)	Média inicial (cm)	Medida 1 final (mm)	Medida 2 final (mm)	Média final (cm)	Diferença em mm	Variação %
195	1.8	2.31	15.2055	2.23	2.75	15.249	0.0435	0.286081
202	1.82	2.23	15.2025	2.19	2.52	15.2355	0.033	0.21707
203	1.78	2.16	15.197	2.18	2.49	15.2335	0.0365	0.240179
206	1.97	1.84	15.1905	2.31	2.22	15.2265	0.036	0.23699
230	2.16	2.47	15.2315	2.47	2.74	15.2605	0.029	0.190395
232	1.85	2.42	15.2135	2.14	2.72	15.243	0.0295	0.193907
239	2.28	2.61	15.2445	2.6	2.89	15.2745	0.03	0.196792
243	2.2	2.41	15.2305	2.4	2.61	15.2505	0.02	0.131315
247	1.69	2.26	15.1975	2.02	2.64	15.233	0.0355	0.233591
260	1.68	1.99	15.1835	1.99	2.39	15.219	0.0355	0.233806
268	1.81	1.99	15.19	2.26	2.44	15.235	0.045	0.296248
273	1.84	2.37	15.2105	2.27	2.77	15.252	0.0415	0.272838
280	1.65	1.86	15.1755	1.96	2.21	15.2085	0.033	0.217456
289	1.97	2.42	15.2195	2.44	2.88	15.266	0.0465	0.305529
292	2.12	2.12	15.212	2.66	2.61	15.2635	0.0515	0.338549
297	1.89	2.31	15.21	2.35	2.8	15.2575	0.0475	0.312295
303	2.14	2.23	15.2185	2.62	2.84	15.273	0.0545	0.358117
308	1.95	2.32	15.2135	2.5	2.9	15.27	0.0565	0.371381
316	1.97	2.31	15.214	2.53	2.87	15.27	0.056	0.368082
323	1.19	1.53	15.136	1.35	1.6	15.1475	0.0115	0.075978
324	1.48	1.92	15.17	1.56	2.1	15.183	0.013	0.085695
325	1.78	2.1	15.194	1.84	2.03	15.1935	-0.0005	-0.00329
345	1.92	2.29	15.2105	2.3	2.65	15.2475	0.037	0.243253
347	2.04	2.07	15.2055	2.39	2.49	15.244	0.0385	0.253198
359	1.7	2.18	15.194	2.14	2.59	15.2365	0.0425	0.279716
366	0.78	0.83	15.0805	0.93	0.98	15.0955	0.015	0.099466
372	1.54	1.74	15.164	1.81	1.84	15.1825	0.0185	0.121999
378	1.69	1.79	15.174	1.86	1.98	15.192	0.018	0.118624
384	2.04	2.57	15.2305	2.44	2.88	15.266	0.0355	0.233085
388	2.26	2.57	15.2415	2.7	2.99	15.2845	0.043	0.282124
400	2.27	2.58	15.2425	2.69	3.01	15.285	0.0425	0.278826
411	2.26	2.45	15.2355	2.53	2.75	15.264	0.0285	0.187063
415	2.25	1.92	15.2085	2.44	2.08	15.226	0.0175	0.115067

Placas	07-06-2011			14-06-2011			Resultado	
	Medida 1 inicial (mm)	Medida 2 inicial (mm)	Média inicial (cm)	Medida 1 final (mm)	Medida 2 final (mm)	Média final (cm)	Diferença em mm	Variação %
418	1.37	1.54	15.1455	1.44	1.46	15.145	-0.0005	-0.0033
421	1.81	2.09	15.195	2.29	2.52	15.2405	0.0455	0.299441
430	1.63	2.1	15.1865	2.06	2.56	15.231	0.0445	0.293023
438	1.89	2.17	15.203	2.39	2.59	15.249	0.046	0.302572
442	1.92	2.28	15.21	2.26	2.7	15.248	0.038	0.249836
445	2.11	2.39	15.225	2.52	2.82	15.267	0.042	0.275862
447	2.07	2.31	15.219	2.41	2.72	15.2565	0.0375	0.246403