



Universidade
de Aveiro
2017

Departamento de Química

Sónia Carina
Henriques Lopes

Relacionamento entre as condições de
produção e qualidade de MDF



Sónia Carina
Henriques Lopes

Relacionamento entre as condições de produção e
qualidade de MDF

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica do Doutor Dmitry Victorovitch Evtugin, Professor Associado com agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e a Mestre Paula Cristina de Oliveira Russo Almeida, Responsável pelo Departamento de Qualidade da Sonae Arauco Mangualde.

“Success is getting what you want. Happiness is wanting what you get.”

Dale Carnegie

o júri

presidente

Prof. Doutora Maria Inês Purcell de Portugal Branco

Professora Auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Luísa Maria Hora de Carvalho

Professora Coordenadora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

Prof. Doutor Dmitry Victorovitch Evtugin

Professor Associado com Agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Em primeiro lugar, ao meu orientador na Universidade de Aveiro, o professor Dmitry Evtuguin, por toda a disponibilidade que me dedicou ao longo deste trabalho e pelas facilidades que me concedeu, para tornar este trabalho possível.

À Eng.^a Paula Russo por toda a simpatia e confiança depositada na execução deste projeto e à Sonae Arauco enquanto empresa, por possibilitar a concretização do estágio curricular.

Ao professor Avelino pela ajuda em questões importantes que surgiram ao longo do trabalho.

À Eng.^a Clara Ré, da Navigator Company pelo auxílio prestado na realização do trabalho.

A todos os colaboradores da Sonae Arauco em Mangualde que me apoiaram e ajudaram a realizar este trabalho da melhor forma possível, nomeadamente, ao Carlos, à Cesaltina, ao Jorge, ao José, à Lurdes e ao Sandro e um especial agradecimento ao Senhor João e ao Sr. Luís. Mais ainda, um profundo agradecimento pela forma como me receberam e acolheram, nomeadamente às Engenheiras Luísa, Helena e à Catarina assim como os restantes colaboradores da Sonae com que direta, ou indiretamente convivi e pela simpatia demonstrada.

À Ana Paula, por tudo o que me ensinou, mas principalmente pela amizade. Um obrigada, não é suficiente.

Às amigas de sempre, pelos conselhos, caminhadas, horas ao telefone e pela força que me deram para a conclusão deste trabalho.

Ao Zé por todo o amor, companheirismo, horas infinitas de conversas e conselhos e por simplesmente só desejar que eu seja feliz independentemente de qualquer escolha que faça. Obrigada.

Às irmãs de coração e madrinhas, Marina e Susana pelo amor.

Por ultimo, mas em primeiro lugar no coração, aos meus pais e ao pequeno grande irmão por todo o apoio ao longo da minha vida, por todo o esforço que fazem, por serem a melhor família que poderia ter e por ficarem tão felizes com as minhas conquistas como se fossem (e são!) realmente vossas.

A toda a minha família de sangue ou não por serem precisamente isso: uma família. E por serem as melhores pessoas que podia ter ao meu lado. O meu muito obrigada por tudo!

palavras-chave

Aglomerado de fibras de média densidade, Resistência à tração, Controlo de qualidade, Cola termofusível, Tecido não têxtil de fibra de vidro.

resumo

A presente dissertação tem como objetivo avaliar a influência da alteração de variáveis de análise nas características físico mecânicas no aglomerado de fibras de média densidade (MDF).

Numa primeira etapa do trabalho experimental avaliou-se a influência da alteração de variáveis no ensaio de resistência à tração perpendicular da placa em três tipos de produtos. Cada um dos tipos de MDF foi dividido em três séries de ensaios: com e sem condicionamento e estabilização, após colagem, em banho e sem condicionamento com arrefecimento abrupto após colagem. Neste trabalho foi possível concluir que, em espessuras superiores dos produtos de MDF analisados a resistência interna obtém valores mais elevados para a série onde o arrefecimento do conjunto suporte metálico-amostra é realizado abruptamente e mais baixos para as amostras condicionadas antes da realização do ensaio. Em arrefecimento abrupto, a humidade do MDF baixa significativamente, enquanto que com condicionamento prévio a humidade do MDF mantém-se, o que leva a uma maior consolidação da amostra no primeiro caso. Para espessuras inferiores os resultados invertem-se, visto que estes são caracterizados por uma maior densidade e consecutivamente maior homogeneidade.

Na segunda etapa do trabalho experimental testou-se um acabamento de placas de MDF com tecido não tecido de fibra de vidro, em cada uma das faces da placa produzida, ao nível laboratorial. Foram produzidas várias placas de MDF com diferentes características: com folha fibra de vidro com adesão às faces da placa apenas por ação do calor e da resina existente nas fibras da prensa laboratorial e com impregnação de resina ureia-formaldeído (UF) em 50 e 100% (m/m) na folha fibra de vidro antes da prensagem. Depois de produzidas as placas, foram realizados ensaios físico mecânicos para posterior comparação com a produção de placas de MDF com o processo convencional, ou seja, sem fibra de vidro. Com este ensaio, conclui-se que na generalidade a aplicação da folha fibra de vidro, melhora as características finais do painel do MDF, em especial quando é impregnada na folha fibra de vidro resina ureia-formaldeído (UF) em 50% (m/m), antes do processo de prensagem. Esta placa revela melhor compactação entre as partículas e o adesivo e melhores resultados de módulo de elasticidade e absorção superficial. Em qualquer dos outros ensaios físico-mecânicos realizados, o MDF com acabamento de fibra de vidro revelam melhores propriedades comparativamente às placas de MDF produzidas convencionalmente.

keywords

Medium density fiberboard, Internal resistance , Quality control, Hot melt adhesive, Non-woven fabric fiberglass

abstract

The present study aims to evaluate the influence of the change of analysis variables in the physical and mechanical properties of the medium density fibreboard (MDF).

In the first stage of the experimental study, we evaluated the influence of the change of variables in a perpendicular tensile test of the plaque in three types of products. Each of the MDF types was divided in three series of test runs: with and without conditioning and stabilization, after bonding, in bath and without conditioning with rapid cooling after bonding. In this test run, we concluded that, in the MDF products analysed with higher thickness, the internal resistance gets higher values in the series where there is a rapid cooling of the set metal support-sample and lower values for samples conditioned before running the test. With a rapid cooling, the MDF humidity decreases substantially, while with prior conditioning, the MDF humidity is maintained, thus, there is further consolidation of the sample in the first scenario. With lower thickness, the results are inverted, as, in this case, there is greater density and, subsequently, also greater homogeneity.

In the second stage of the experimental study, we tested a MDF plaque finishing with a non-woven fibreglass fabric, in each of the manufactured **plaques' surface, at laboratory level. Several MDF plaques, with different** properties, were produced: with fibreglass sheet bonded to the plaque only with the heat from the laboratory press and of the resin present in the fibres, and with impregnation of urea-formaldehyde (UF) resins in 50 and 100% (m/m) in the fibreglass sheet before being pressed. After the plaques were manufactured, physical and mechanical test runs were conducted in order to, later, compare with MDF plaques manufactured through the conventional process, that is to say, without fibreglass. With this test run, we may conclude that, on the whole, applying a fibreglass sheet improves the final properties of the MDF plaque, especially when urea-formaldehyde (UF) resins in 50 (m/m) are impregnated in the fibreglass sheet before the pressing process. This plaque shows better compactness between the particles and the bonding agent and better results regarding the modulus of elasticity and the superficial absorption. In all other physical and mechanical test runs conducted, the MDF with fibreglass finishing showed better properties when compared to the MDF plaques conventionally manufactured.

Índice Geral

Capítulo 1.	Apresentação da empresa e enquadramento da dissertação	1
Capítulo 2.	Composição, Morfologia e Processamento dos painéis de madeira	3
2.1.	Breve História	3
2.2.	Os compósitos à base de madeira	3
2.3.	Tipos de Compósitos de Madeira.....	4
2.4.	O painel de aglomerado de fibra de média densidade (MDF).....	7
2.5.	Variáveis do processo.....	8
2.5.1.	A prensagem.....	8
2.5.2.	A resina.....	9
2.6.	Influência das variáveis nas propriedades físico-mecânicas do MDF	12
2.7.	Processo de Produção do MDF	13
2.7.1.	Matéria-Prima	15
2.7.1.1.	Madeira	15
2.7.1.2.	Resina	15
2.7.1.3.	Aditivos.....	16
2.7.2.	Preparação da estilha	16
2.7.3.	Descascador	16
2.7.4.	Destroçador.....	17
2.7.5.	Crivagem e lavagem da estilha.....	17
2.7.6.	Preparação da fibra	18
2.7.7.	Secagem da fibra.....	19
2.7.8.	Formação do colchão	19
2.7.9.	Prensagem do colchão	20
2.7.10.	Estabilização, lixagem, corte e embalagem	20
2.7.11.	Controlo de qualidade.....	21
Capítulo 3.	Métodos e Procedimentos experimentais.....	22
3.1.	Ensaio Comparação de IB.....	22
3.1.1.	Amostras	22
3.1.2.	Método de ensaio	24
3.1.3.	Preparação das amostras.....	25
3.1.4.	Procedimento experimental	26

3.2.	Ensaio Realizados à nova placa de MDF com folha de fibra de vidro	29
3.2.1.	Amostras	29
3.2.2.	Métodos de Ensaio.....	32
3.2.2.1.	Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão de acordo com a NP 310:2002[23]	33
3.2.2.2.	Inchamento em espessura após imersão em água de acordo com a NP EN 317:2002[24].....	34
3.2.2.3.	Determinação do perfil de densidade ao longo da espessura, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado.....	34
3.2.2.4.	Teor de água de acordo com a norma NP EN 322:2002[26].....	35
3.2.2.5.	Determinação da absorção superficial, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado.....	36
3.2.2.6.	Massa volúmica de acordo com a norma NP EN 323:2002[27]	36
3.2.3.	Preparação de Amostras	36
3.2.4.	Procedimento Experimental	38
3.2.4.1.	Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão de acordo com a NP 310:2002	38
3.2.4.2.	Inchamento em espessura após imersão em água de acordo com a NP EN 317:2002	39
3.2.4.3.	Determinação do perfil de densidade, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado	40
3.2.4.4.	Teor de água de acordo com a norma NP EN 322:2002	41
3.2.4.5.	Determinação da absorção superficial, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado.....	41
3.2.4.6.	Massa volúmica de acordo com a norma NP EN 323:2002	42
Capítulo 4.	Resultados e Discussão	43
4.1.	Ensaio Comparação de IB.....	43
4.2.	Ensaio Realizados à nova placa de MDF	47
4.2.1.	Determinação da massa volúmica	49
4.2.2.	Determinação do teor de água	49
4.2.3.	Inchamento em espessura após imersão em água	50
4.2.4.	Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão.....	50
4.2.5.	Determinação da absorção superficial.....	51

4.2.6. Determinação do perfil de densidade.....	52
Capítulo 5. Conclusões.....	56
Bibliografia	58
Anexo A	60
Anexo B	64
Anexo C	66
Anexo D	68
Anexo E.....	70

Índice de Figuras

Figura 1 - Classificação de tipos de compósitos de madeira por tamanho de partículas, densidade e processo [5].	5
Figura 2 - Exemplo de painéis de partículas [1].	6
Figura 3- Exemplo de painéis de partículas orientadas (OSB) [1].	6
Figura 4 - Exemplo de painéis de fibras [1].	7
Figura 5 - Representação esquemática do aumento da temperatura na placa em função do tempo de prensagem [7].	9
Figura 6 - Processo produtivo de MDF da Sonae Arauco Mangualde [19].	14
Figura 7 - Representação da segunda e terceira série de amostragem do produto A.	23
Figura 8 - Representação da primeira série de amostragem do produto A.	24
Figura 9 - Estabilização dos provetes, após colagem dos suportes metálicos, em banho de arrefecimento.	27
Figura 10 - Estabilização da temperatura dos provetes após colagem no suporte metálico na arca.	27
Figura 11 - Realização do ensaio de resistência à tração perpendicular.	28
Figura 12 - Processo de prensagem do colchão de fibras, em prensa laboratorial.	30
Figura 13 - Representação das sete placas de MDF produzidas laboratorialmente, antes do corte e da realização dos ensaios.	32
Figura 14 - Parâmetros de densidade aparente de painéis de MDF obtidos através de densitometria de raios X. Modificado de [25]	35
Figura 15 - Esquema de corte, para preparação das amostras de cada placa produzida laboratorialmente.	37
Figura 16 - Distribuição de ensaios a realizar, pelas amostras disponíveis em cada placa após corte.	37
Figura 17 - Realização do ensaio do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão.	38
Figura 18 - Micrómetro utilizado para a medição da espessura do provete antes e depois da realização do ensaio.	39
Figura 19 - Colocação dos provetes em banho, para realização do ensaio de inchamento em espessura.	39
Figura 20 - Realização do ensaio de determinação de perfis de densidade.	40

Figura 21 - Equipamento utilizado para a determinação da absorção superficial da placa de MDF.	41
Figura 22 - Representação dos valores de tração de cada provete do tipo A (18 mm), para cada série.....	44
Figura 23 - Representação dos valores de tração de cada provete do tipo B (6 mm), para cada série.....	44
Figura 24 - Representação dos valores de tração de cada provete do tipo C (15 mm), para cada série.....	44
Figura 25 - Representação do ciclo de prensagem utilizado para produção das placas de MDF em escala laboratorial.....	48
Figura 27 - Placa número 5 produzida laboratorialmente com fibra de vidro e impregnação com 100% de resina.	51
Figura 26 - Placa número 7 produzida laboratorialmente com fibra de vidro e impregnação com 50% de resina.	51
Figura 28 - Perfil de densidade da amostra A das placas produzidas convencionalmente (sem fibra de vidro).	53
Figura 29 - Perfil de densidade da amostra A das placas produzidas com fibra de vidro com adesão por ação do calor e da resina existente nas fibras.....	54
Figura 30 - Perfil de densidade da amostra A da placa produzida com fibra de vidro impregnada de resina a 50%.	54
Figura 31 - Perfil de densidade da amostra A das placas produzidas com fibra de vidro impregnada de resina a 100%.	55
Figura A. 1 - Esquema do processo de produção ao nível industrial [22].	60
Figura A. 2 - Esquema do processo produtivo das placas de MDF desenvolvidas em laboratório. Modificado de [22]......	60
Figura A. 3 - Formação do colchão de fibra com o auxílio da formadora.....	61
Figura A. 4- Adição da folha fibra de vidro, no processo de formação do colchão.	62
Figura A. 5 - Amostras de MDF para demonstração.	62
Figura A. 6 - Amostras utilizadas para os ensaios físico-mecânicos.....	63
Figura E. 1 - Perfil de densidade do provete A, da placa 1.	70
Figura E. 2 - Perfil de densidade do provete B, da placa 1.....	71
Figura E. 3 - Perfil de densidade do provete C, da placa 1.....	71
Figura E. 4 - Perfil de densidade do provete D, da placa 1.....	71

Figura E. 5 - Perfil de densidade do provete E, da placa 1.....	71
Figura E. 6 - Perfil de densidade do provete F, da placa 1.....	71
Figura E. 7 - Perfil de densidade do provete A, da placa 2.....	71
Figura E. 8 - Perfil de densidade do provete B, da placa 2.....	71
Figura E. 9 - Perfil de densidade do provete C, da placa 2.....	71
Figura E. 10 - Perfil de densidade do provete D, da placa 2.....	71
Figura E. 11 - Perfil de densidade do provete E, da placa 2.....	71
Figura E. 12 - Perfil de densidade do provete F, da placa 2.....	71
Figura E. 13 - Perfil de densidade do provete A, da placa 3.....	71
Figura E. 14 - Perfil de densidade do provete B, da placa 3.....	71
Figura E. 15 - Perfil de densidade do provete C, da placa 3.....	71
Figura E. 16 - Perfil de densidade do provete D, da placa 3.....	71
Figura E. 17 - Perfil de densidade do provete E, da placa 3.....	71
Figura E. 18 - Perfil de densidade do provete F, da placa 3.....	71
Figura E. 19 - Perfil de densidade do provete A, da placa 4.....	71
Figura E. 20 - Perfil de densidade do provete B, da placa 4.....	71
Figura E. 21 - Perfil de densidade do provete C, da placa 4.....	71
Figura E. 22 - Perfil de densidade do provete D, da placa 4.....	71
Figura E. 23 - Perfil de densidade do provete E, da placa 4.....	71
Figura E. 24 - Perfil de densidade do provete F, da placa 4.....	71
Figura E. 25 - Perfil de densidade do provete A, da placa 5.....	71
Figura E. 26 - Perfil de densidade do provete B, da placa 5.....	71
Figura E. 27 - Perfil de densidade do provete C, da placa 5.....	71
Figura E. 28 - Perfil de densidade do provete D, da placa 5.....	71
Figura E. 29 - Perfil de densidade do provete E, da placa 5.....	71
Figura E. 30- Perfil de densidade do provete F, da placa 5.....	71
Figura E. 31 - Perfil de densidade do provete A, da placa 6.....	71
Figura E. 32 - Perfil de densidade do provete B, da placa 6.....	71
Figura E. 33 - Perfil de densidade do provete C, da placa 6.....	71
Figura E. 34 - Perfil de densidade do provete D, da placa 6.....	71
Figura E. 35 - Perfil de densidade do provete E, da placa 6.....	71
Figura E. 36 - Perfil de densidade do provete F, da placa 6.....	71
Figura E. 37 - Perfil de densidade do provete A, da placa 7.....	71

Figura E. 38 - Perfil de densidade do provete B, da placa 7.....	71
Figura E. 39 - Perfil de densidade do provete C, da placa 7.....	71
Figura E. 40 - Perfil de densidade do provete D, da placa 7.....	71
Figura E. 41 - Perfil de densidade do provete E, da placa 7.....	71
Figura E. 42 - Perfil de densidade do provete F, da placa 7.....	71

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Descrição de condições de cada uma das séries.....	23
Tabela 2 - Espessura e amostragem utilizada para cada um dos três produtos de MDF.	24
Tabela 3 – Nomenclatura, características principais e representação das placas de MDF produzidas laboratorialmente.	31
Tabela 4 - Valores de média, desvio padrão, mínimo, máximo e intervalo de confiança para todas as séries e produtos de MDF estudados.	45
Tabela 5 - Resultados médios das propriedades testadas (Massa Volúmica, Teor de Humidade, Inchamento em Espessura, Módulo de elasticidade em flexão e a resistência em flexão e absorção superficial) para as sete placas de MDF produzidas laboratorialmente.....	48
Tabela 6 - Valores de densidade mínima, média e máxima obtida pelos valores médios dos perfis de densidade de cada uma das placas produzidas laboratorialmente.	52
Tabela B. 1 - Valores de carga e tração para todos os provetes, incluindo data e hora de realização, do produto A.	64
Tabela B. 2 - Valores de carga e tração para todos os provetes, incluindo data e hora de realização, do produto B.	65
Tabela B. 3 - Valores de carga e tração para todos os provetes, incluindo data e hora de realização, do produto C.	65
Tabela D. 1 - Valores de todos os ensaios realizados às placas 1 e 2 produzidas laboratorialmente.	68
Tabela D. 2 - Valores de todos os ensaios realizados às placas 3 a 7 produzidas laboratorialmente.	69

Capítulo 1. Apresentação da empresa e enquadramento da dissertação

A Sonae Arauco nasce da aliança entre duas grandes marcas do mundo da madeira: Sonae Indústria e Arauco. Esta parceria nasce com o propósito de criar soluções inspiradas na madeira para um mundo e um futuro melhor, e engloba todas as unidades de produção de painéis de derivados de madeira, químicos e papel impregnado na Europa e África do Sul. Ambas partilham a mesma ambição de crescimento internacional e visão de longo prazo do negócio [1] [2].

A Sonae Arauco é uma sub-holding do grupo Sonae e é uma das maiores empresas industriais do setor de derivados de madeira, a nível global, com 13 fábricas localizadas em 4 países, distribuídas por 2 continentes [3] O propósito desta empresa é criar soluções de madeira com o objetivo de uma vida melhor, um futuro melhor e um planeta, igualmente, melhor [1].

Em inícios de 2017, a Sonae Arauco empregava 2.784 pessoas, distribuídas em 21 unidades industriais e comerciais em 8 países (Portugal, Espanha, Alemanha, África do Sul, Reino Unido, França, Holanda e Suíça). Os produtos são comercializados para 75 países e o volume de negócios era de 812 milhões de euros, sendo que a sua capacidade de produção é de 4.185 milhões de m² [1].

A Sonae Arauco incide em grande parte do mercado de produção de painéis derivados de madeira. Os produtos base comercializados são, nomeadamente: Painéis de Aglomerado de Partículas (PB); Painéis de Fibra de Média Densidade (MDF) e Painéis de Fibras Orientadas (OSB).

Esta empresa tem os derivados de madeira como base de todo o negócio, sendo que estes apresentam uma alternativa mais flexível, sustentável e funcional à madeira maciça. O principal propósito é o desenvolvimento de soluções inspiradas na madeira que combinam conhecimento industrial, funcionalidade, qualidade, design e preço [1].

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito empresarial com vínculo com a Sonae Arauco de Mangualde integrante do grupo Sonae Arauco. O trabalho realizado consistiu em dois pontos principais. O primeiro ponto centrou-se no estudo da influência da alteração de determinados pontos do procedimento experimental para o ensaio de resistência à tração perpendicular às faces da placa de MDF. O segundo ponto baseou-se no desenvolvimento de uma placa de MDF com acrescento de uma fibra de vidro em cada uma das faces da placa de MDF produzida, avaliando assim a influência nas propriedades físico-mecânicas da placa produzida.

O ensaio de resistência à tração perpendicular às faces da placa de MDF é dos ensaios de maior importância ao nível dos testes físico mecânicos realizados nas placas de MDF. Dado isso, é de elevada importância perceber a influência na alteração de alguns pontos do procedimento experimental e avaliar o efeito nos resultados no ensaio de resistência à tração.

Para o segundo trabalho experimental, as novas abordagens desenvolvidas devem assegurar a produção de uma placa de MDF que cumpra com os requisitos de qualidade estabelecidos na

norma e, não obstante disso, possa tornar-se num produto mais vantajoso comparativamente com os restantes produtos existentes atualmente no mercado de compósitos de madeira.

De forma a validar as propostas de desenvolvimento da placa de MDF com fibra de vidro em cada uma das faces foram realizados determinados ensaios físico mecânicos como: Determinação da massa volúmica, teor de água, inchamento em espessura após imersão em água, módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão, determinação da absorção superficial e perfil de densidade.

O presente documento é estruturado em 5 capítulos e 6 anexos. O primeiro e o segundo capítulo apresentam a introdução ao tema em estudo. O terceiro capítulo descreve os métodos e procedimentos utilizados para execução dos objetivos propostos. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos bem como a discussão dos mesmos e, por fim, no quinto capítulo são apresentadas as principais conclusões a retirar da elaboração desta dissertação. O primeiro anexo, o Anexo A, apresenta o esquema de produção industrial e laboratorial, sendo este último o utilizado para a produção da placa de MDF com folha fibra de vidro e as imagens ilustrativas do processo de formação da placa, assim como a preparação das amostras para os ensaios. O Anexo B, possui os resultados detalhados do ensaio de tração às faces da placa de MDF e o Anexo C, o código de *Matlab* utilizado para a análise dos dados do ensaio referido anteriormente. Os Anexos D e E, estão relacionados com o segundo trabalho experimental realizado, sendo que o Anexo D apresenta todos os valores obtidos pelos ensaios realizados às placas produzidas industrialmente e o ultimo anexo os perfis de densidade obtidos para cada um dos 6 provetes testados de cada uma das 7 placas de MDF produzidas.

Capítulo 2. Composição, Morfologia e Processamento dos painéis de madeira

2.1. Breve História

O uso de painéis de madeira tem-se tornado cada vez mais popular e este mercado tem demonstrado uma crescente competitividade. Este tipo de produtos são uma proposta interessante na ampliação dos materiais a serem utilizados nas mais diversas indústrias, visto que utilizam a madeira num compósito com base de fibras naturais. Estes produtos são utilizados para uma série de aplicações estruturais e não estruturais em linhas de produtos que vão desde painéis com fins de revestimento interior, a painéis para uso exterior ou utilização em estruturas de apoio a edifícios [4]–[6].

Durante os últimos 10 a 15 anos, deu-se o desenvolvimento de uma nova geração de compósitos à base de madeira e continua em foco envolvendo agora outras áreas como a química aliada à tecnologia e produtos, seguindo os tópicos atuais da biorrefinaria, eficiência de recursos, desmaterialização e conceitos híbridos [6]. Os principais produtores de painéis de madeira encontram-se na América do Norte e Europa, sendo também estes países os principais consumidores. Uma grande parte dos novos investimentos em unidades de produção de painéis está sendo orientada para países emergentes. Os principais fatores para a localização dos novos e substanciais investimentos deve-se à disponibilidade de matéria prima e existência de um mercado local [4].

2.2. Os compósitos à base de madeira

O elemento básico que caracteriza os compósitos à base de madeira é a fibra (sendo o componente primário a madeira, com cerca de 94% em massa), composta por partículas maiores compostas por conjunto de fibras, sendo que estes compósitos podem ser produzidos numa variedade de tamanhos e formas, adicionando alguma resina e outros aditivos. Ou seja, o conceito deste tipo de compósitos é “colar” peças de madeira ou partículas de uma maneira específica. Estas peças de aglomerado de madeira podem ser placas, folheados, partículas ou fibras que resultam na produção de contraplacado, vigas de lamelado-colado, placas de aglomerado de partículas de madeira, placas de aglomerado de partículas de madeiras longas orientadas (OSB) e placas de aglomerado de fibras (por exemplo placas de aglomerado de fibra de média densidade, MDF) com diferentes especificações. Consoante o tamanho, forma e finalidade do compósito à base de madeira, as suas propriedades e especificações são alteradas [5], [6].

Várias espécies de madeira são utilizadas na produção dos painéis à base de madeira, onde esta escolha é realizada com base na disponibilidade e preços da matéria-prima. Para diferentes tipos de painéis, algumas vezes são utilizadas diferentes misturas de madeira entre espécies, forma e tamanho de partículas. De forma a obter misturas com um maior desempenho de espécies de madeira, o processo é realizado por tentativa e erro e baseado em razões económicas.

Normalmente, são utilizadas várias cadeias de madeira como pinheiros e abetos sendo que na Europa é muitas vezes utilizada a madeira de folhosas em cerca de 70% da mistura. É de grande importância destacar que o uso de espécies como o Eucalipto, surgem como uma proposta interessante com novas espécies de madeira a serem empregados pelas indústrias, pois estas têm apresentado resultados bastante satisfatórios, sem comprometer as propriedades físico-mecânicas dos painéis [4], [7].

A produção de compósitos à base de madeira possui a grande vantagem em relação aos produtos fabricados com madeira maciça, nomeadamente:

- O processamento de produtos à base de madeira é realizado exclusivamente com plantas industriais, produzindo qualidade e características reprodutíveis;

- Pode ser produzida com uma grande variedade de fontes de madeira, onde não são limitadas pela altura e diâmetro da árvore, por terem defeitos localizados (nós, por exemplo), assim como madeira recuperada a partir de resíduos de construção, processos de fabricação industrial, resíduos florestais (com casca, galhos) e madeiras provenientes de variadas espécies;

- Em comparação com produtos de madeira maciça, os produtos à base de aglomerado de madeira são muito mais homogêneos o que resulta numa qualidade da superfície, estabilidade dimensional, entre outras que podem ser ajustadas para aplicações e necessidades especiais [5], [6].

O aglomerado de fibras de madeira é considerado uma placa com espessura igual ou superior a 1,5 mm obtida a partir de fibras lenho celulósicas com aplicação de calor e/ou pressão. Este tipo de aglomerado pode ser por via húmida ou seca: os considerados aglomerados por via húmida têm um teor de água da fibra superior a 20% no estágio de formação, enquanto que os aglomerados obtidos por via seca têm um teor de água da fibra inferior a 20% no estágio de formação, como descrito na norma NP EN 316 [8].

2.3. Tipos de Compósitos de Madeira

Uma forma vantajosa de classificar os compósitos à base de madeira é fundamentada em determinadas características como: massa volúmica, matéria-prima e métodos de processamento como descrito na norma NP EN 316.

A Figura 1 apresenta uma visão generalizada dos tipos de produtos de painéis comercializados. O aglomerado de fibras pode ser classificado de acordo com diferentes critérios, como o processo de fabrico, espessura, massa volúmica, propriedades específicas, condições de aplicação ou tipo de aplicação como descrito na norma NP EN 316.

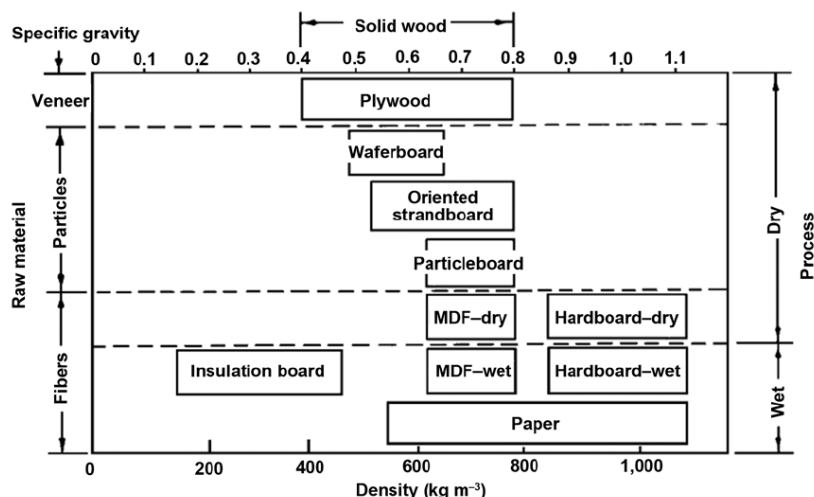


Figura 1 - Classificação de tipos de compósitos de madeira por tamanho de partículas, densidade e processo [5].

Dependendo do processo de fabrico, o aglomerado é classificado como obtido por via húmida ou via seca, como referido anteriormente. Os aglomerados obtidos por via húmida, diferenciados com base na sua massa volúmica, são: aglomerados de fibras duro (Hardboard, com massa volúmica $\geq 900 \text{ kg/m}^3$), aglomerado de fibras semi-duro (Medium Board, com $400 \text{ kg/m}^3 \leq \text{massa volúmica} < 900 \text{ kg/m}^3$) e aglomerado de fibras brando (Softboard, com $230 \text{ kg/m}^3 \leq \text{massa volúmica} < 400 \text{ kg/m}^3$). O aglomerado de fibras de média densidade (MDF) é designado de aglomerado de fibras obtido por via seca, como descrito na norma NP EN 316. Estes compósitos à base de madeira dividem-se, por exemplo, em contraplacados, placas de aglomerado de partículas, placas de aglomerado de partículas de madeiras longas e orientadas (OSB), placas de fibras de média densidade (MDF), entre outras [4].

O contraplacado é um produto produzido inteiramente ou primariamente das folhas de madeira. É produzido com um número ímpar de fios orientados perpendicularmente umas às outras. As propriedades deste tipo de compósito à base de madeira dependem da qualidade da folha de madeira utilizado, a ordem das camadas, o adesivo utilizado (que define a durabilidade da ligação adesivo-madeira) e a forma como as condições de ligação são controladas durante a sua produção. Há contraplacado para uso industrial e construção e o contraplacado para uso decorativo [5].

As placas de aglomerado de partículas, na Figura 2, são produzidos pela redução mecânica da matéria prima da madeira em mistura pequenas partículas, sendo que estas diferem em tamanho e forma, aplicando adesivo nas mesmas o que consolida as partículas soltas com calor e pressão num painel. Este processo é um processo seco que inclui os seguintes passos: preparação, classificação de partículas e secagem, aplicação do adesivo, formação do colchão, prensagem e acabamento [5], [7].



Figura 2 - Exemplo de painéis de partículas [1].

As placas de aglomerado de partículas de madeiras longas orientadas (OSB), a Figura 3, são produtos utilizados para aplicações estruturais, como paredes, forros, pisos, componentes de vigas estruturais, embalagens, entre outras, sendo as suas principais características a resistência mecânica e a boa estabilidade dimensional. As placas OSB são produzidas de partículas de madeira com a incorporação de resina à prova d'água e parafina, orientadas numa direção durante o processo de deposição e consolidados por meio de prensagem a quente [9].



Figura 3- Exemplo de painéis de partículas orientadas (OSB) [1].

O termo placas de aglomerado de fibras, Figura 4, inclui as placas de aglomerado de fibras duro, o painel de fibras de média densidade (MDF). Há certas características que diferenciam os painéis de fibras dos painéis de partículas, mais propriamente a configuração física do elemento de madeira. A madeira é fibrosa por natureza e sendo assim, a fibra da madeira explora a força inerente da madeira em maior extensão do que o painel de partículas. A refinação deste tipo de painel é feita com recurso ao aumento de vapor ou através de tratamentos termo-mecânicos, visto que vapor enfraquece as ligações de lenhina entre as fibras celulósicas. Para o MDF o tipo de refinação utilizada é com o vapor pressurizado [5].



Figura 4 - Exemplo de painéis de fibras [1].

2.4. O painel de aglomerado de fibra de média densidade (MDF)

O MDF (em inglês, Medium Density Fiberboard), ou seja, o painel de aglomerado de fibra de média densidade tem sido utilizado em diferentes áreas como a construção civil, fabricação de móveis e indústria de embalagens. É frequentemente utilizado no lugar da madeira maciça, contraplacado e aglomerado em muitas aplicações de mobiliário, para molduras e acabamento de interiores [4], [5].

É um painel composto por madeira com prensagem na horizontal, composto por fibras de madeira orientadas aleatoriamente obtidas por polimerização de madeira termomecânica e ligadas por prensagem a quente, recorrendo à utilização de resinas adesivas termoendurecíveis. Este tipo de painel apresenta uma densidade de aproximadamente 850 kg/m^3 e a quantidade média de sólidos de resina na placa está entre 11 e 14% na madeira seca [7].

Este tipo de placa é considerado um produto relativamente recente, sendo fabricado pela primeira vez em 1966 em Deposit (Nova Iorque) por Allied Chemical, de forma a fazer concorrência aos painéis de aglomerados de fibra. A sua chegada à Europa deu-se em meados da década de 70 e foi introduzido na Europa Ocidental em 1977, onde a Espanha teve um papel crucial [10].

O MDF possui diversas características mecânicas que se assemelham às da madeira maciça, o que leva a diversas utilizações para substituição da mesma. Como foi referido anteriormente, os compósitos à base de madeira representam inúmeras vantagens em relação à utilização da madeira sólida e sendo assim, o MDF tem um acréscimo de benefícios na sua utilização tanto em relação à madeira maciça como em relação ao aglomerado de partículas, tais como:

- Produto uniforme e estável com superfície lisa e homogénea;

- Boa maquinabilidade com alta usinabilidade para encaixar, entalhar, cortar, aparafusar, perfurar e moldurar;
- Adequada para acabamentos do tipo envernizado, pinturas em geral ou revestimento com papeis decorativos, folheado de madeira ou PVC;
- Económico em relação ao uso de tintas, lacas e vernizes;
- Possibilidade de executar junções com vantagem em relação à madeira natural, visto que este material não possui nós, veios reversos e imperfeições típicas do produto natural;
- Possui boa estabilidade dimensional e grande capacidade de maquinação em relação à madeira aglomerada;
- E possui melhores propriedades físicas em relação ao aglomerado de partículas, resistência à tração, inchamento a 24 horas, teor de água, modulo de elasticidade e resistência à flexão [4], [10],[11].

Durante a produção do MDF é utilizada a resina ureia-formaldeído devido à sua reatividade, baixo custo e excelente capacidade de adesão à madeira. No entanto, pode revelar-se perigoso se não forem tomadas as devidas precauções de segurança uma vez que pode ser libertado aquando do corte e lixagem [10], [12].

2.5. Variáveis do processo

As propriedades dos painéis à base de madeira são determinados principalmente por três parâmetros: a madeira, o adesivo e as condições de produção (sendo a condição mais importante a prensagem a quente). Só tendo em consideração estes três parâmetros, os resultados da colagem pretendidos serão alcançados. O desempenho e as propriedades dos painéis à base de madeira são fortemente influenciados pelas propriedades da madeira, logo a anisotropia da madeira, bem como a sua heterogeneidade e a sua higroscopicidade devem ser levadas em consideração [7].

2.5.1. A prensagem

A prensagem é um dos processos fulcrais para a produção de painel de madeira de boa qualidade e é descrito na Figura 5. A fase inicial, denominada de A, corresponde à fase de transferência de calor dos pratos da prensa para o colchão de madeira, logo após o fecho da prensa. A fase B, é um aumento rápido da temperatura no núcleo da placa, que corresponde ao fluxo de vapor e à condensação nas áreas frias do colchão de madeira. O escoamento de vapor é regido pelo gradiente de pressão de vapor entre as superfícies e a camada central, sendo que o principal mecanismo de transferência de calor a convecção. A fase C corresponde a uma taxa decrescente de aumento de temperatura no núcleo da placa até 100°C, onde inicialmente a temperatura aumenta exponencialmente e depois, há ainda um aumento de temperatura, mas num maior espaço de tempo. De seguida, há a estabilização da temperatura denominada de fase D, que

resulta da diminuição do gradiente de vapor devido à queda da humidade das bordas da placa e ao aumento e diminuição do calor húmido da madeira perto da superfície da placa e na camada central, respetivamente. No último estágio há um pequeno aumento da temperatura nas placas padrão [7].

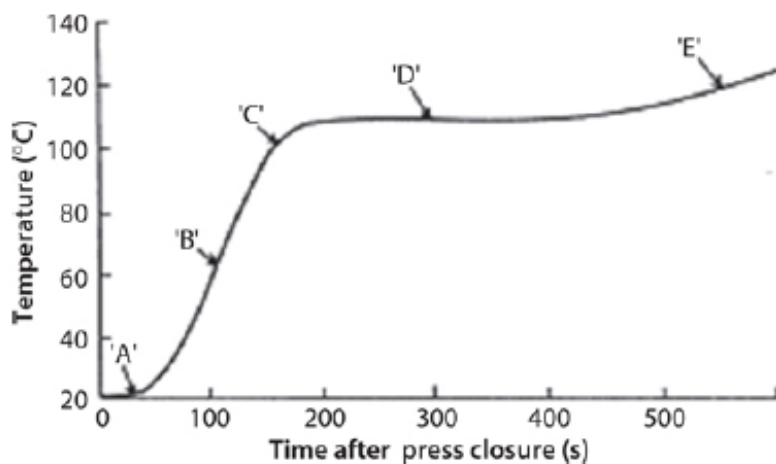


Figura 5 - Representação esquemática do aumento da temperatura na placa em função do tempo de prensagem [7].

Durante a prensagem, o material é densificado até obter a espessura final desejada, e há diversos parâmetros de influência como os a temperatura da prensa e o teor de água do colchão. Outros parâmetros adicionais envolvem a densidade da madeira, a porosidade, o comportamento da madeira ao inchamento e retração e a estrutura da superfície. Durante o ciclo de prensagem, vários mecanismos estão em operação como: o transporte de calor e humidade, aderência entre partículas ou fibras e formação da força de ligação na linha de cola (coesão) [7].

Os painéis de fibra normalmente são classificados por densidade e os seus processos de fabricos podem ser realizados a seco ou a húmido. O processo a seco é utilizado para os painéis de alta e média densidade, do aglomerado de fibras duro e os MDF, respetivamente [5].

Na produção dos painéis de fibras, o processo de prensagem a seco é um pouco diferente comparativamente com o mesmo processo para a produção de aglomerado de partículas. Neste último, depois de formado o colchão de fibra este sofre uma pré-prensagem numa prensa de banda, onde a placa é cortada por cortadores de disco e transferida para a prensa de pratos quentes. Para o MDF, o colchão é cortado e transferido diretamente para a prensa. O processo de prensagem a húmido, diferem dos anteriores por aspetos bastante significativos. Sendo assim, na prensagem a húmido, a água é usada como meio de distribuição de fibras para a formação do colchão. Algumas das placas fabricadas neste processo não são adicionadas aglutinantes e assim, se a lenhocelulósica contiver lenhina e se esta for retirada durante a refinação, já serve de aglutinante sobre si própria [5].

2.5.2. A resina

Como referido anteriormente, para a produção dos compósitos à base de madeira é realizada uma colagem de peças de madeira ou placas de uma maneira específica [6].

O uso de resinas pelo homem remota há mais de dois mil anos antes de Cristo. Informações dizem que os egípcios foram um dos primeiros povos a usarem resinas. Estes povos empregavam a goma arábica retirada de essências florestais e, resinas de algumas árvores, bem como do ovo e da borracha. De forma a condicionar os primeiros papiros compostos por lâminas finas, justapostas e coladas foi utilizada uma cola feita com pasta de farinha [4].

Outra das vantagens do emprego de adesivos sob pressão e temperatura é o facto de permitir a fabricação de placas com larguras muitas vezes superiores ao diâmetro da árvore que fornece a matéria prima. A fabricação de painéis à base de madeira, além de praticamente eliminar as limitações de tamanho, permite o aumento da resistência lateral, através da disposição das folhas na fabricação do contraplacado, ou através da orientação das fibras e partículas na produção de placas de fibra e placas de madeira aglomerada, contribuindo significativamente para diminuir os efeitos da anisotropia da madeira. A utilização de resinas na produção de painéis à base de madeira resulta em melhores sistemas adesivos e métodos de processamento mais eficientes e efetivos para a grande variedade dos mesmos [4], [13].

A madeira é um composto natural constituído aproximadamente por 60 a 65% de fibras, 25 a 30% de um polímero ramificado polifenólico aleatório, lenhina (que funciona como aglutinante) e 10% de resíduos.

Na fabricação dos painéis de madeira MDF as resinas naturais existentes na madeira não são suficientes para agregar as fibras. Sendo assim, torna-se necessário algum tipo de elemento ligante, tendo em conta que esta ligação entre as fibras e o adesivo depende da interação físico-química onde esta colagem na maioria das vezes é realizada por resinas adesivas termoendurecíveis (onde a cura é realizada a quente). Para tal, inicialmente o adesivo deve humedecer as fibras da madeira e, posteriormente fluir de modo controlado durante a prensagem e adquirir uma forma sólida no final do processo. Sendo assim, e devido ao facto de os painéis à base de madeira serem utilizados em larga escala nas mais diversas áreas (construção, decoração interior e exterior, entre outras), as resinas utilizadas nesses mesmos painéis constituem aproximadamente 60% do volume de todas resinas produzidas no mundo. Por isso, torna-se de grande importância que a tecnologia envolvida resulte num bom desempenho entre o adesivo e o painel, ou seja, é necessário que exista um equilíbrio entre a tecnologia do adesivo e a tecnologia do fabrico dos painéis [4], [5], [7].

Mais ainda, os extratáveis da madeira, que são moléculas presentes em pequenas quantidades na própria madeira, podem influenciar a sua ligação física e química. A composição química da superfície da madeira pode diferir após o processamento devido à concentração de compostos polares e não polares da própria madeira. Ao usar resinas de policondensação, se os extratos tiverem um forte comportamento ácido ou alcalino, estes podem causar aceleração ou retardamento do processo de endurecimento do adesivo [7].

Segundo Campos e Lahr [4], o desenvolvimento de uma boa colagem depende essencialmente destes três requisitos: um adequado humedecimento proporcionado pela resina líquida,

solidificação do adesivo líquido e suficiente capacidade de modificação da forma por parte do adesivo já solidificado.

A formação de uma colagem adequada e o seu desempenho dependem de uma série de parâmetros relacionados às características físico-químicas da resina, características do material a ser colado, procedimentos de colagem e as condições da matéria-prima a ser utilizada, ou seja, a escolha do adesivo depende das condições de trabalho durante a produção, bem como o custo associado à utilização dessa resina (o que inclui não só o preço físico do adesivo, mas também os custos de colagem, como espalhamento da cola, capacidade de produção da linha do painel, entre outros) [4], [7]. Os principais adesivos empregados na fabricação de painéis de madeira são as resinas sintéticas [4]. Destacando-se a resina ureia-formaldeído (UF), a resina fenol-formaldeído (PF), a melamina-ureia-formaldeído (MUF) e isocianato (IC) [10].

A ureia-formaldeído derivam de formaldeído e de ureia, os quais são sintetizados a partir de gás natural [10]. É uma resina usualmente utilizada na fabricação de produtos para uso em interiores, principalmente para aglomerado de partículas e painéis de fibra de média densidade (MDF) visto que a exposição à humidade desencadeia reações de formação de ligações [5]. A resina ureia-formaldeído apresenta diversas vantagens como:

- O tempo e temperatura de cura da resina (reação de polimerização) visto que tem um tempo de cura rápido na prensa (de alguns segundos a algumas horas) e uma temperatura de cura (10 a 100°C) inferior comparativamente com as resinas fenol-formaldeído, a tendo ainda mais facilidade na utilização de diferentes condições de cura;
- São resinas incolores, o que faz com que durante o processo de reação na prensa para obtenção da placa final, não induzem qualquer tipo de cor à placa;
- São as resinas mais baratas e de fácil manuseamento.

A grande desvantagem da resina ureia-formaldeído, deve-se ao facto desta resina não oferecer suficiente resistência à imersão na água [5], [10].

A resina fenol-formaldeído é a mais cara e tem um tempo de cura maior relativamente às anteriores. Assim como, necessitam de temperaturas mais elevadas para que se dê a reação de cura (121 a 140°C). A vantagem deste tipo de resinas deve-se à sua enorme durabilidade e resistência à água. As placas que utilizam este tipo de resina obtêm uma excelente estabilidade dimensional e é tipicamente usado para o fabrico de contraplacados para a construção e telhas orientadas onde as alterações climáticas durante a construção, é uma preocupação [5], [10].

As resinas melamina-ureia-formaldeído (MUF) são caracterizadas por um aumento em relação à resistência à humidade sendo que as melaminas individualmente, tal como as fenólicas resistem melhor às condições atmosféricas do que as resinas compostas por ureia. Consoante as aplicações da placa a proporção da melamina e da ureia são alteradas, dependendo do teor de humidade do local de aplicação. As resinas MUF são usadas para laminados decorativos, tratamento de papel e revestimento [5], [10].

As resinas isocianato (IC) são resinas caracterizadas pela sua elevada resistência à humidade, dado que estas resinas dão origem a cadeias de uretano, formando ligações fortes dos grupos hidroxilo da madeira. Devido a essa característica mecânica esta resina é concorrente das resinas MUF e PF. Outra vantagem da utilização destas resinas é o facto de não conter formaldeído e não ser necessária a sua diluição. Em termos de comparação para uma mesma placa, os consumos de uma resina IC são inferiores à utilização de uma resina PF. A parafina que é útil para conferir resistência à placa em relação à humidade, pode ser completamente eliminada na medida que os uretanos são por si só hidrofóbicos, sendo desmoldante e com um preço elevado [10].

Como visto anteriormente, a quantidade de resina é um factor muito importante na produção das placas, visto que influencia as características finais da mesma, mas devido ao seu custo, a quantidade de resina a utilizar no processo é preferencialmente reduzida ao mínimo. Nos Estados Unidos a quantidade de resina utilizada em cada placa é de 6 a 10%, para resinas com ureia na sua composição e 5 a 7% para as resinas fenólicas [10]. As resinas que têm formaldeído na sua composição revelam-se produtos muito instáveis e as suas propriedades, como a viscosidade e o tempo de vida vão depender da temperatura e etapas de condensação [10].

Como foi referido anteriormente, as resinas de ureia são resinas muito utilizadas no fabrico de placas de aglomerado de madeira. Mas apresentam uma fraca resistência à humidade, especialmente quando combinadas com o calor, visto que estas condições levam à quebra de ligações e à libertação de formaldeído, o que implica o uso destas resinas apenas para interior. O formaldeído é um dos poluentes mais comuns e prioritários existentes dentro de casa. De qualquer forma, mesmo que aplicadas no interior o formaldeído vai-se libertando lentamente, trazendo preocupações ao nível da saúde visto que o formaldeído em concentrações acima do limite é cancerígeno e alguns estudos verificam que em a curto prazo a exposição ao formaldeído pode causar irritação dos olhos, nariz e garganta. Sendo assim, os limites estipulados para emissão de formaldeído têm sido cada vez mais restritos [10], [12], [14].

Um adesivo termoendurecíveis pode ser definido como aquele que possui a capacidade de se solidificar através de reações químicas ativadas por calor ou catalisadores, resultando em uma colagem resistente a humidade e calor. Um adesivo termo plástico é aquele capaz de ser, repentinamente, amolecido por aquecimento e endurecido por resfriamento.

Segundo Campos e Lahr [4], em situações em que o MDF não terá contacto com a água, quando a sua utilização se destina a camas, armários, guarda-roupas, por exemplo, as chapas de fibras de *Pinus* e as chapas de fibras de Eucalipto com 8% de adesivo podem ser empregados. Quando, tanto as fibras de *Pinus* e Eucalipto têm 10% e 12% de adesivo podem ser empregados em ambientes húmidos e até em contato direto com água.

2.6. Influência das variáveis nas propriedades físico-mecânicas do MDF

Dentro de todas as variáveis envolvidas no processo produtivo do MDF, a densidade do painel e o tipo de resina utilizada na sua produção, são as de maior relevância para a adequar as propriedades finais do aglomerado para as suas aplicações predefinidas [15].

Painéis de madeira produzidos com espécies de madeira de baixa densidade têm maior resistência à flexão, à tração perpendicular e módulo de elasticidade também superior. Em relação à absorção de água e inchamento este parâmetro não afeta as propriedades referidas. Madeiras menos densas contribuem em um aumento do comprimento de sobreposição entre as partículas, logo maior área de contato, o que leva a forças maiores transmitidas pelas linhas e cola e assim, maior resistência do painel [16].

Como já foi referido, durante a prensagem o material é densificado até obter a espessura final desejada. A razão de compactação do painel é dada pela relação entre a densidade da madeira e a densidade do painel, o que tem grande influencia nas propriedades físico-mecânicas do painel. Um aumento de densidade promove um maior contacto entre as fibras significando menor perda de resina em espaços vazios [17].

Relativamente ao perfil de densidade obtido da placa de MDF produzido, o tempo de fecho da prensa é o fator mais importante, dado que este tempo é compreendido entre o momento em que os pratos da prensa entram em contacto com o colchão até ao momento em que é atingida a espessura final. Quanto mais rápido o fechamento da prensa, maior o gradiente vertical da densidade, onde se obtém uma maior densificação das camadas externas em relação às camadas internas, explicado pela transferência de calor ocorrer com mais relevância nas camadas mais externas [16]. Durante o processo de prensagem, as camadas internas do painel estão mais frias e resiste à compressão enquanto as camadas mais externas compactam mais facilmente. Quanto as camadas internas do painel atingem uma temperatura que permitiria uma maior compactação, a espessura final do painel já foi obtida. Assim explica, o facto de a compactação ser superior nas camadas internas relativamente às externas [18].

2.7. Processo de Produção do MDF

Como referido anteriormente, o MDF é produzido através da transformação de diferentes formas de madeira em placas rígidas, bastante estáveis ao nível dimensional que podem ter diversos fins. O processo produtivo das placas de aglomerado de fibras de média densidade é bastante idêntico ao aglomerado de partículas, a diferença está na formação de matéria prima homogénea para o processo, designada de fibra.

O processo produtivo é composto por as seguintes etapas: produção de estilha, crivagem, lavagem de estilha, cozimento da estilha, desfibrilhamento, encolagem e secagem. Antes do processo propriamente dito é necessário realizar a escolha da matéria prima mais adequado para o processo pretendido.

A Figura 6 apresenta o processo produtivo típico de uma fábrica de produção de MDF.

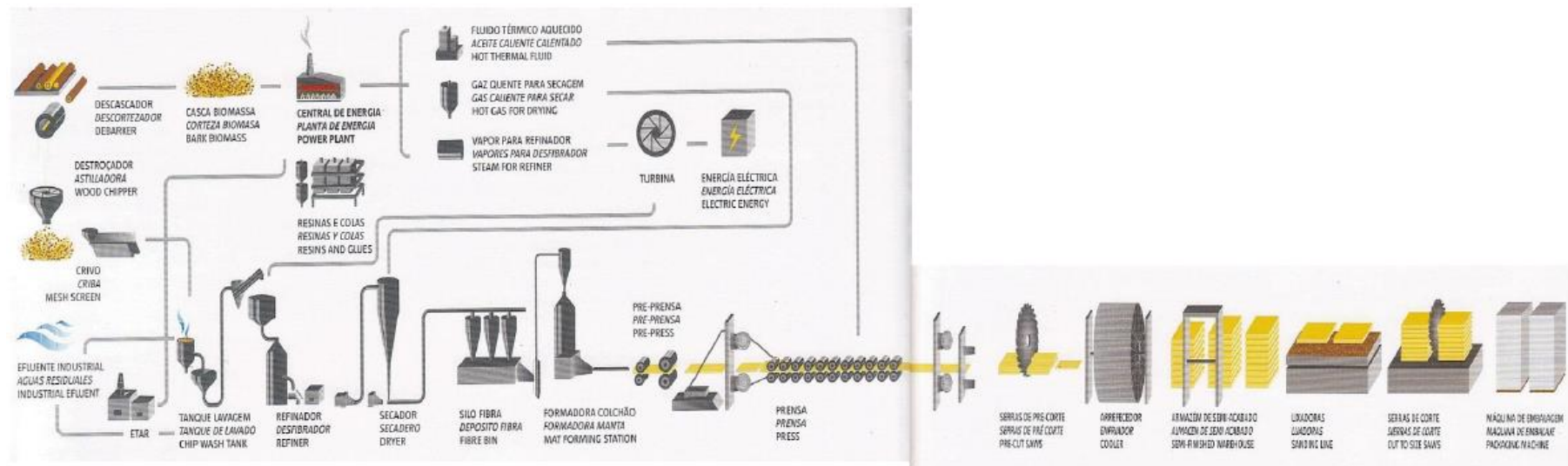


Figura 6 - Processo produtivo de MDF da Sonae Arauco Mangualde [19].

2.7.1. Matéria-Prima

Para o processo de fabrico do MDF as matérias primas principais são: a madeira, a resina e os aditivos auxiliares.

2.7.1.1. Madeira

De todas as variáveis a ter em conta no decorrer do processo de obtenção das placas de MDF, a escolha da espécie de madeira a utilizar é sem duvida a mais importante, visto que influencia as características finais da placa de MDF, a escolha do tipo de resina e a humidade das fibras [10].

A madeira pode chegar à fábrica em diferentes formas como troncos de madeira de pequena dimensão (rolaria) ou desperdícios de serração (falheiro/costaneiro e estilha). Também se pode utilizar madeira resultante de outras fontes como resíduos provenientes da exploração florestal, reciclagem de madeira sem utilidade, entre outras [10], [19].

Nos dias de hoje a industria de fabricação de MDF permite utilizar uma vasta gama de fibras de madeira, mas sem duvida que a madeira macia é a melhor matéria-prima a utilizar, visto que confere robustez e comprimento às suas fibras. A morfologia das fibras é de extrema importância para o desenvolvimento das propriedades do painel de MDF [10]. O comprimento das fibras favorece a estabilidade dimensional do MDF pois com o aumento das ligações entre as fibras decresce a possibilidade de movimentação das mesmas [4].

Estudos realizados indicam que para uma mesma espécie de madeira, a área superficial especifica (dada em m²/g) é inferior para fibras longas quando estas são comparadas com as mais curtas devido à sua largura. Sendo assim em relação à resina, a quantidade de resina nas fibras longas é superior em relação às fibras curtas. Uma maior quantidade de resina resulta num painel com melhores propriedades mecânicas [10].

2.7.1.2. Resina

As resinas são componentes fundamentais para o fabrico do painel de aglomerado de fibras. Como referido anteriormente, as resinas mais utilizadas são: a ureia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (PF), melanina-ureia-formaldeído (MUF) e isocianato (IC). A primeira é a resina mais utilizada no fabrico dos aglomerados de madeira [10].

Tendo em conta os fatores que influenciam a reação e a sua distribuição, é necessário que a resina seja personalizada tendo avaliando: a espécie da madeira; a humidade; *blow-line* (distribuição); secagem; tempo de prensagem e condições de prensagem.

No processo de fabrico de MDF as resinas mais utilizadas são as resinas de ureia-formaldeído e melanina-ureia-formaldeído [4]. No final do processo de obtenção da placa de MDF é necessário realizar a determinação do controlo de formaldeído.

2.7.1.3. Aditivos

No fabrico de MDF, as matérias primas não são apenas a madeira e a resina, os aditivos também um papel igualmente importante. Dependendo da finalidade da placa, as propriedades da mesma têm de ser alteradas a partir da adição dos aditivos [10].

Um dos aditivos mais utilizados é a parafina que tem como função resistir à absorção de água, diminuindo o inchamento das placas, não resistindo, no entanto, à absorção de vapor de água. Esta adição ainda proporciona estabilidade dimensional à placa final. Esta adição é normalmente feita entre 0.5 e 1% [10].

Durante o processo de adição da resina sintética esta é adicionada na sua forma líquida para que dispersem bem na superfície da madeira. Durante o processo de cura da resina e, de forma a melhorar essa mesma reação é adicionado um catalisador [12]. A sua quantidade vai depender da quantidade de resina a aplicar [10]. De forma a prevenir ataques biológicos e o apodrecimento das fibras são adicionados preservadores ou preventivos. Para fabrico de placas de MDF ignífugas (resistência ao fogo) são utilizados produtos ignífugos como o fosfato [10].

2.7.2. Preparação da estilha

A madeira pode ser recebida como troncos de madeira de pequena dimensão (rolaria) ou desperdícios de serração (falheiro/costaneiro e estilha). A madeira preferencial é a madeira de pequena dimensão, de preferência a verde, dado que garante flexibilidade e estabilidade ao processo, visto ser uma madeira mais homogénea [10]. Toda a madeira rececionada (seja por via rodoviária ou ferroviária) é direcionada para o parque de madeira e depois submetida a testes de controlo de qualidade. A estilha é direcionada para o respetivo armazenamento (silos ou pilhas). [19].

2.7.3. Descascador

Após a receção da madeira de pinheiro e de eucalipto é necessário retirar a sua casca com recurso ao descascador [19]. O descascamento é uma operação comum do processo produtivo das indústrias de produtos à base da madeira [4]. A casca da madeira pode chegar a ocupar um volume na ordem dos 9 a 24% do volume total [10]. Sendo que a casca também representa um elemento desqualificativo na madeira final, a madeira possui mais 10 a 20 vezes mais a presença de cinzas e areia (sílica) na madeira com casca comparativamente à madeira sem casca. É necessário ter em conta que a presença de areias desgasta mais o equipamento e que a introdução da casca no processo de produção de MDF aumenta o consumo de resina [10].

O descascador pode ser de diversas formas, como: lâminas rotativas, como uma passagem central para troncos; sistema de tambor, onde a casca é esmagada, quebrada e cortada através de fricção e choque entre os roncões existentes na tumbola e as lâminas presentes no interior ou jatos de água que são projetados a elevada pressão sobre a madeira [10]. O processo de tambor gigante com rotação axial é o método utilizado na Sonae Arauco Mangualde [19].

As cascas resultantes desta etapa assim como os resíduos sólidos, na Sonae Arauco de Mangualde, têm como única a queima sendo esta queima aproveitada para as caldeiras [10], [19].

2.7.4. Destroçador

A madeira sem casca é agora enviada para o destroçador. A principal função do destroçador é converter os toros de pequena dimensão em aparas de madeira (estilha) com um comprimento médio de 22 a 25 mm, com o auxílio de um conjunto de lâminas que compõem o destroçador. O ângulo da lâmina tem de garantir que as aparas da madeira permaneçam inteiras [10], [19].

É de realçar que a madeira antes de entrar no destroçador passa por um detetor de metais de forma a que não danifique posteriormente o equipamento [10].

O processo do destroçador produz cerca de 60% da estilha necessária para o processo. Sendo que a restante estilha é comprada [19]. Este conjunto de estilha é depois direcionada para os silos de armazenagem [10].

2.7.5. Crivagem e lavagem da estilha

Depois da estilha armazenada nos silos, esta é direcionada para o crivo. A operação de crivagem é realizada por um crivo com duas malhas diferentes dimensões de forma a garantir que no processo apenas entre estilha compreendida entre 22 e 25 mm de comprimento médio e espessura média de 3 a 6 mm [10].

No crivo superior, é captada apenas a estilha grossa, onde esta é direcionada novamente para o destroçador para posterior crivagem [19]. No crivo inferior é recolhida a estilha demasiado fina, que é rejeitada visto conter areias e cascas, sendo assim aproveitada também para a queima [10], [19].

De seguida passa para o processo de lavagem. Este processo consiste em duas unidades principais: o tambor lavador (*scrap separator*) e o sem-fim de estilha (*screw drainer*). Na primeira unidade a água é adicionada à estilha e estas são agitadas através de pás com um movimento rotacional, separando as areias, pedras ou metais que ainda possam existir na mistura. Esta mistura de água e estilha é direcionada para o sem fim de estilha, onde a sua função é transportar estilha para a tremonha (*Surge Bin*) e drenar o excesso de água condicionada que segue para posterior tratamento na ETAR [10].

O processo de lavagem de estilha apresenta diversas vantagens como: melhoria da qualidade dos painéis produzidos, redução do desgaste dos equipamentos e facilita o processo de desfibrilhação e dado isso diminuição do consumo energético [4], [10]. É de realçar que neste processo é realizada a recirculação da água [19].

As propriedades das placas de madeira produzidas com lavagem de fibra melhoram, dado que a lenhina presente nas camadas intercelulares é amolecida, perdendo a sua capacidade de retenção

de fibras, o que resulta numa formação de polpa de fibras mais resistentes e flexíveis, resultando assim em placas mais rígidas [4].

2.7.6. Preparação da fibra

Depois de lavada a estilha entra para o processo de refinação. O processo de refinação tem como principal objetivo garantir a homogeneidade da fibra de madeira- sem lascas e com poucas partículas finas- e para tal fazem parte do processo os seguintes equipamentos:

- A tremonha;
- Sem-fim de alimentação ao pré-aquecedor;
- Pré Aquecedor;
- Desfibrador.

Depois de lavada a fibra segue para a tremonha, que é o elemento intermediário de armazenagem entre a lavagem e a refinação. No fundo da tremonha a estilha sofre um pré-aquecimento a baixa pressão na ordem dos 0.5 bar, de forma a aquecer e homogeneizar a temperatura da mesma. A homogeneização da estilha é essencial dado que garante a uniformidade do processo e facilita o amolecimento da lenhina. Sendo assim, o ponto de amolecimento da lenhina é fortemente influenciado pelo teor em humidade variando de 90°C para a lenhina com humidade na ordem de 27,1% até 195°C para a lenhina anidra [10], [19].

Depois de passar na tremonha, a estilha pré-aquecida passa para o sem-fim como alimentação ao pré-aquecedor. Este sem-fim é um tubo cónico que tem como função espremer a estilha, removendo assim o excesso de água e que, por consequência, homogeneiza a humidade da estilha e garante assim que à um fluxo contínuo à entrada do pré-aquecedor, que se encontra a elevada pressão [10], [19].

De seguida, a estilha segue para o processo de cozimento num pré-aquecedor, que é um reservatório vertical onde a estilha fica retida sob o efeito de vapor saturado a 7 a 9 bar e temperatura entre 170 a 180°C. Este processo exige algum equilíbrio no tempo de retenção da estilha visto que um tempo de retenção elevado provoca escurecimento das fibras. O tempo de retenção ideal irá minimizar a quantidade de energia necessária para realizar o desfibrado da madeira [10].

De forma a garantir que há um fluxo constante de estilha ao refinador, o sem fim de extração do pré-aquecedor tem o formato cónico e de alimentação lateral a um segundo sem fim que alimenta o refinador. Assim, previne o fluxo de vapor seja contrário à alimentação. Este uso de sem fim tem como objetivo eliminar as vibrações que poderiam ocorrer no fluxo de alimentação ao refinador, o que irá resultar numa desfibrado firme e uniformemente.

A estilha é agora direcionada para a introdução no refinador. Aqui dá-se a refinação com o auxílio de dois discos. Um deles está fixo e o outro tem uma rotação axial, que também se pode mover horizontalmente (sendo que esta movimentação horizontal altera a carga/consumo específico do refinador). Quanto maior o consumo específico, mais juntos os pratos estarão e mais fina a fibra será [19]. Ou seja, a produção de partículas finas ou grossas depende do espaçamento entre os discos, o qual é inversamente proporcional à energia consumida pelo desfibrador [10].

Após a fibra ser desfibrada e antes de passar para a secagem é descarregada a grande velocidade de refinador, através de uma válvula e tubo de expansão (em inglês blow valve e blow line respetivamente) de pequeno diâmetro, em direção ao secador. Aqui é adicionada a resina por um único orifício para o tubo de expansão, com uma pressão de 2-2.7 bar. A mistura fibra/vapor de água é descarregada a elevada velocidade no secador, para evitar acumulações e para facilitar o arrastamento da fibra por parte do ar de secagem [10].

2.7.7. Secagem da fibra

O elevado teor de água das fibras tem como consequência um conjunto de problemas quando o colchão de fibras, criado posteriormente, é formada e prensado a quente [4]. Para tal é inserida a etapa de secagem para remover a humidade da fibra [19]. Os secadores utilizados na produção de MDF são simples e compostos por um ciclone onde no interior flui ar seco e quente.

Como dito, a fibra é transportada desde o tubo de expansão até à entrada do secador, juntamente com o vapor inserido no cozimento. Como os gases da caldeira e do vapor são insuficientes para o processo de secagem é necessário aquecer, através de um permutador, ar aspirado do exterior. Este são os três tipos de aquecimento utilizados para efetuar a secagem das fibras. Quando esse ar aquecido também não é suficiente, há a possibilidade de aquecer as fibras através de um queimador a gás natural [19].

Antes dos ciclones de secagem existe um dumper e um ventilador que têm como finalidade regular o caudal de ar introduzido no ventilador e é responsável pela ascensão da fibra até ao topo de ciclone de secagem, respetivamente [19].

Existem dois tipos de classificação de secadores: horizontais de rotação e horizontais fixos. Os secadores de rotação podem ser de um ou dois estágios, onde o secador de um estágio consiste numa tubagem com 69 ou mais metros de comprimento e 1.37 metros de diâmetro, enquanto que o secador de dois estágios promove a secagem num comprimento de tubagem total de 122 metros. Em relação às temperaturas, no primeiro estágio ronda temperaturas mais elevadas de 200 a 316°C e no segundo estágio de 38 a 82°C. O que permite o transporte da fibra e a secagem da fibra é um sistema pneumático instalado [10].

2.7.8. Formação do colchão

Depois da fibra sofrer o processo de secagem é transportada para a formadora onde se processa a formação do colchão de fibra que é posteriormente prensado.

As partículas já com resina adicionada são transportadas até a formadora que tem como função depositar o material sobre a forma de colchão contínuo em uma esteira que transporta a fibra, para posterior passagem pela prensa.

A formação do colchão de fibras pode ser feita de forma contínua ou descontínua. A formação contínua é caracterizada por um alto nível de automação no sistema de fabricação e os sistemas utilizados para a sua formação, utilização e distribuição das partículas de forma mecânica, pneumática ou por combinação de ambas [16]. A formação de colchão de forma descontínua exige um sistema realizado por ação de ar injetado diagonalmente de cima para baixo, na formadora. Assim, este ar é injetado de forma a distribuir a fibra homogeneamente, sendo que na formadora ainda é possível regular a largura do colchão. O colchão de fibras é formado sob uma tela perfurada onde por baixo é criado um sistema de vácuo, através de dois ventiladores [19].

À saída da formadora, normalmente existe uma balança para pesar a massa do colchão formado. Dado que cada colchão tem uma densidade específica, as placas que dão origem também terão a sua densidade. Dado que a massa volúmica é o rácio entre a massa e o volume, para cada m³ de colchão, este também terá uma massa e volume específico associado [19].

2.7.9. Prensagem do colchão

Após a formação do colchão segue-se a prensagem a quente. Como referido anteriormente, este processo é seguramente dos processos mais importantes para a formação das placas de MDF.

A prensagem tem como objetivo consolidar o painel e pode ser realizado por prensas batch (descontínuas) ou contínuas [16]. A prensagem do colchão é realizada através da injeção de vapor, o que permite o aquecimento quase instantâneo do colchão, resultando numa cura mais eficiente da resina, o que leva à facilidade de produção de placas de MDF de elevadas espessuras. A prensagem realizada de forma contínua é o método mais aperfeiçoado na produção deste tipo de painéis [16].

A prensagem, hoje em dia, permite uma produção de painéis de uma elevada gama de espessura, tanto de espessuras mais grossas, como de espessuras muito pequenas- na ordem de 3 mm- com uma tolerância de 0.15 mm, com elevada economia no consumo de energia e uma flexibilidade em termos de dimensões dos próprios painéis [16].

A capacidade de produção destas linhas varia de 500 a 1500 m³ de painéis a cada 24 horas de produção, dependendo do comprimento da prensa [16].

Depois de prensados, os painéis são arrefecidos, lixados, dimensionados e armazenados para a expedição [16].

2.7.10. Estabilização, lixagem, corte e embalagem

Depois de concluído o processo de prensagem das placas de MDF, que se encontram a temperaturas elevadas, são sujeitas a um processo de arrefecimento com as duas faces expostas

ao ar. Depois de arrefecidas são colocadas em paletes onde ficam a estabilizar durante pelo menos 24 horas. De seguida, as placas são lixadas até à espessura e superfície pretendidas. No fim, as placas são embaladas, de forma a proteger o máximo possível o material para entrega ao cliente [20].

2.7.11. Controlo de qualidade

Todas as placas produzidas, são submetidas a testes de controlo de qualidade segundo o plano de motorização e medição. Os testes podem ser físico-mecânicos ou químicos sendo os testes mais relevantes a tração perpendicular às faces da placa de MDF, o perfil de densidade, a determinação da humidade, do inchamento após imersão em água depois de 24 horas, o módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão e a absorção superficial da placa. Outros testes realizados à placa de MDF produzida estão relacionados com a determinação do teor de formaldeído assim como determinação do teor de sílicas.

Os testes realizados no departamento da qualidade revelam-se de grande importância visto que é a chave para perceber se o produto inicialmente projetado e desenvolvido na linha industrial cumpre com os requisitos estabelecidos com o cliente, segundo parâmetros padronizados e normativos.

Capítulo 3. Métodos e Procedimentos experimentais

3.1. Ensaio Comparação de IB

3.1.1. Amostras

Para o ensaio de comparação da resistência à tração perpendicular às faces da placa de MDF foram utilizadas amostras de vários tipos de MDF produzido na Sonae Arauco em Mangualde. Para este ensaio foram utilizados três tipos de produto de MDF com diferentes espessuras e finalidades.

Como foi referido anteriormente é necessário ter em conta que o principal objetivo da realização deste primeiro trabalho experimental é avaliar a influência de diferentes tipos de procedimentos experimentais (três séries) na mesma placa de MDF, concretamente no teste de tração perpendicular às faces da placa:

- Série I- provetes de MDF, com dimensões de 50×50 mm, com condicionamento numa atmosfera controlada com uma humidade relativa de $(65\pm 5)\%$ e uma temperatura de $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ (após corte de placa e antes do ensaio de tração) e estabilização da temperatura do suporte metálico (após aquecimento, para fusão da cola termofusível) em banho a $(18\pm 3)^\circ\text{C}$, antes da realização do ensaio;

-Série II- provetes de MDF, com dimensões de 50×50 mm, sem condicionamento (após corte de placa e antes do ensaio de tração) e estabilização da temperatura do suporte metálico (após aquecimento, para fusão da cola termofusível) em banho a $(18\pm 3)^\circ\text{C}$, antes da realização do ensaio;

-Série III- provetes de MDF, com dimensões de 50×50 mm, sem condicionamento (após corte de placa e antes do ensaio de tração) e estabilização da temperatura do suporte metálico com arrefecimento abrupto a -5°C , antes da realização do ensaio (com o objetivo de fazer um maior número de ensaios num menor espaço de tempo);

A Tabela 1 representa o procedimento experimental de cada série antes da realização do ensaio de comparação da resistência à tração perpendicular às faces da placa.

Tabela 1 - Descrição de condições de cada uma das séries.

Tipo de Série	Condicionamento	Arrefecimento do suporte metálico	
		Banho a (18±3)°C	Arca a -5°C
Série I	✓	✓	
Série II		✓	
Série III			✓

Para um tipo de produto de MDF foram utilizados três conjuntos de amostragem (3 séries) de 50×50 mm de 30 provetes cada. Para os seguintes dois tipos de produto de MDF foram utilizados três séries de provetes de 50×50 mm de 10 provetes cada. Ou seja, para o primeiro tipo de MDF teve-se uma amostragem de 90 provetes divididos de igual forma por três séries com diferentes tipos de ensaio (30 provetes/série) e para os restantes dois tipos de MDF teve-se uma amostragem de 30 provetes divididos pelas três séries igualmente (10 provetes/série).

Na Figura 7 é possível verificar duas séries de amostragem (as duas séries utilizadas com o produto sem condicionamento) do primeiro tipo de MDF analisado, sendo este composto por uma amostragem total de 90 provetes, com 16 mm de espessura.

A Figura 8 apresenta o mesmo tipo de provetes para realização dos ensaios de primeira série, que depois de condicionados foram armazenados em vácuo durante o transporte até à fábrica para posteriormente procedermos ao ensaio de tração.

O primeiro tipo de MDF, designado de A é um tipo de produto standard dos painéis de fibras de média densidade. O produto B é um produto também standard para posterior utilização em pavimentos. Por fim, o produto C é um tipo de produto tipicamente designado de MR, ou seja, hidrófugo resistente à humidade para aplicações estruturais em condições húmidas.



Figura 7 - Representação da segunda e terceira série de amostragem do produto A.



Figura 8 - Representação da primeira série de amostragem do produto A.

A Tabela 2 representa esquematicamente a amostragem para a realização do ensaio de comparação da resistência à tração perpendicular às faces da placa.

Tabela 2 - Espessura e amostragem utilizada para cada um dos três produtos de MDF.

Espessura do MDF	Tipo de MDF	Séries	Amostragem (nº de provetes)
18	A	I	30
		II	30
		III	30
6	B	I	10
		II	10
		III	10
15	C	I	10
		II	10
		III	10

3.1.2. Método de ensaio

O ensaio de comparação da resistência à tração perpendicular às faces da placa de MDF consistiu essencialmente, como referido anteriormente, na realização do ensaio de tração perpendicular às

faces da placa de MDF com diferentes procedimentos experimentais, antes da realização do referido teste.

Sendo assim, para este primeiro trabalho experimental realizado apenas de realizou o ensaio resistência à tração perpendicular às faces da placa, segundo a norma NP EN 319:2002.

A técnica de resistência à tração tem como principal objetivo a determinação da resistência perpendicular às faces de um provete submetendo-o a uma solitação de tração uniformemente repartida até à ruptura.

A resistência interna da placa, R , (N/mm^2) é determinada pela relação entre a carga máxima que a placa admite, F , (N) e a superfície do provete, ou seja, comprimento e largura do provete, b_1 e b_2 , (mm) segundo a Equação 3.1.

$$R = \frac{F}{b_1 \times b_2} \quad (3.1)$$

Para a realização dos ensaios de comparação da resistência à tração perpendicular às faces da placa foram utilizados os seguintes equipamentos: serra de laboratório, disco de aquecimento, banho de arrefecimento, arca frigorífica e máquina de tração perpendicular.

A máquina utilizada para o ensaio de tração perpendicular (teste de resistência interna) utiliza um equipamento Lloyd Instruments LR 10K.

Este tipo de equipamento exerce força por meio de uma garra e mede a força com uma exatidão de 1%. [21].

3.1.3. Preparação das amostras

De forma a garantir a homogeneidade das amostras, as placas foram cortadas todas da mesma forma e os provetes de cada série são os mais idênticos possíveis relativamente à posição da placa.

Para tal, foram escolhidos 4 tipos de placas de MDF diferentes antecipadamente e de seguida foram recolhidas do armazém. Depois das placas se encontrarem no laboratório, utilizou-se a serra de laboratório para cortar a placa em três séries de provetes de 50×50 mm, segundo o plano de corte definido internamente pela empresa para cada tipo de placa. Este plano de corte referido, garante a homogeneidade das amostras dado que o plano de corte utilizado minimiza as variações que se originam durante a produção do MDF, considerando o sentido de saída das placas da prensa.

As placas foram cortadas em três séries, tentando garantir o máximo de equilíbrio possível no seu conjunto de projetos. Ou seja, o quinto provete da primeira série é da mesma zona da placa do quinto provete da segunda e terceira série.

Os provetes devem ter uma forma quadrada com uma dimensão de 50mm(+1mm) de lado, ser cortados com precisão, os ângulos devem ser de 90° e os bordos devem ser direitos e limpos

3.1.4. Procedimento experimental

O procedimento experimental deste primeiro trabalho experimental foi realizado de três formas (séries) distintas como referidas anteriormente.

O processo foi realizado todo da mesma forma para as três séries, sendo que a única diferença reside no modo de estabilização da temperatura de do provete após a colagem.

Para a realização do ensaio de comparação da resistência à tração perpendicular às faces da placa de MDF é necessário ter os provetes cortados, preferencialmente na dimensão de 50×50 mm, suportes metálicos e colas termofusíveis, excetuando os equipamentos referidos acima.

Inicialmente, e depois da placa ser recolhida no armazém e os provetes cortados e lixados na serra de laboratório, colocam-se os suportes metálicos sobre o disco elétrico e coloca-se a cola termofusível e deixa-se aquecer até a cola derreter.

De seguida, cola-se o provete ao suporte metálico, rodando o suporte de forma a que a cola fique uniformemente distribuída sobre toda a área de contato entre o suporte e a cola e depois coloca-se o suporte metálico em contato com a água no banho de arrefecimento.

Repete-se os procedimentos referidos acima para a outra face do provete e deixa-se novamente arrefecer.

Neste momento o procedimento altera, consoante a série pela qual se está a trabalhar.

Na série I, os provetes depois de cortados na serra de laboratório foram transportados para a Navigator Company, de forma a serem condicionados na sala própria para o efeito. Estes provetes tiveram no mínimo 24 horas no condicionamento e na altura da recolha foram armazenados em vácuo para transporte até à Sonae Arauco e assim permaneceram até realização do ensaio. Depois de colados, estes provetes seguiram o procedimento aconselhado no manual de operações de qualidade, ou seja, a temperatura do provete foi estabilizada num banho de arrefecimento com uma temperatura de 18±3°C durante aproximadamente 20 minutos.

A série II, os provetes já não foram condicionados e após o corte da placa, foram armazenados e aguardaram ensaio. Foram colados com o procedimento experimental anterior e depois de colados os dois lados do provete a temperatura do mesmo foi estabilizada no banho de arrefecimento com uma temperatura de 18±3°C durante aproximadamente 20 minutos.

A Figura 9 representa o procedimento realizado na estabilização da amostra para as séries I e II.



Figura 9 - Estabilização dos provetes, após colagem dos suportes metálicos, em banho de arrefecimento.

Por último, na série III os provetes também não foram previamente condicionados, mas procedeu-se ao procedimento de colagem de provetes da mesma forma. Depois de colada uma parte do suporte colocou-se o banho de arrefecimento e de seguida foi colado o outro lado do provete. No final de todos os provetes colados também numa face como na outra, a estabilização da temperatura do conjunto provete-suporte foi realizada através de arrefecimento rápido, ou seja, os provetes colados com o suporte foram colocados na arca, a uma temperatura de aproximadamente -5°C durante 10 minutos, como demonstrado na Figura 10.



Figura 10 - Estabilização da temperatura dos provetes após colagem no suporte metálico na arca.

Depois da amostra estabilizada, procedeu-se ao ensaio de tração perpendicular da placa propriamente dito. Neste ensaio, todas as séries seguiram o mesmo procedimento experimental de forma a garantir que a única alteração no procedimento era originada pela etapa de estabilização da amostra.

Montou-se a máquina de ensaios com os acessórios adequados para o ensaio de tração. De seguida colocou-se o conjunto provete-suporte metálico entre as garras de tração que compõem a máquina, colocou-se o numero de provete no programa informático instalado no computador

para o teste e ativou-se a máquina. Regulou-se a velocidade de aplicação da força de maneira a que a carga máxima seja atingida em 60 ± 30 segundos. Por último repetiu-se o procedimento para todos os provetes.

A Figura 11 representa a realização do ensaio de resistência à tração perpendicular às faces da placa, com o provete já colado ao suporte e depois do tempo de estabilização da amostra.



Figura 11 - Realização do ensaio de resistência à tração perpendicular.

É necessário ter em conta que os ensaios foram cortados e o ensaio de todas as séries realizados ao mesmo tempo, ou seja, só depois de ter a primeira série de provetes, já condicionados, em fábrica é que se realizou o ensaio.

3.2. Ensaios Realizados à nova placa de MDF com folha de fibra de vidro

3.2.1. Amostras

Como referido anteriormente, o principal objetivo deste segundo trabalho experimental foi avaliar a influência da adição de uma folha de fibra de vidro em ambas as faces da placa de MDF, com o objetivo de melhorar as características superficiais da placa e as propriedades em relação à humidade e à resistência a fungos. Para tal, foram produzidas diversas placas de MDF com e sem fibra de vidro, adicionando ainda em algumas placas resina na malha de fibra de vidro, para facilitar a aderência no processo de prensagem. É de realçar que as fibras utilizadas para o fabrico das placas ao nível laboratorial já continham uma percentagem de resina e aditivos.

Para a realização dos ensaios ao protótipo da placa de MDF com fibra de vidro, foi necessário realizar a prensagem da placa a nível laboratorial. Para tal, a fibra pronta a formar foi fornecida pela Sonae Arauco e o procedimento de prensagem realizado na Universidade de Aveiro na prensa laboratorial do departamento de Mecânica. Os restantes ensaios de qualidade foram realizados de novo na Sonae Arauco. O esquema de produção industrial e laboratorial é apresentado no Anexo A.

A fibra de MDF (que foi retirada do processo, já depois da adição de resina) utilizada neste segundo trabalho experimental, tinham como produção de painéis de MDF para utilização em revestimentos. Estas placas são normalmente utilizadas para posteriormente produzir painéis revestidos com papéis impregnados com resinas melamínicas, que têm como objetivo final revestimento de pavimentos. A este tipo de painéis são designados por painéis revestidos com laminados de baixa pressão para utilização em *flooring* laminados, onde cada uma das faces do painel de MDF produzido é revestida com películas de papeis revestidos a melanina através de prensagem com recurso ao calor e pressão.

Sendo assim, a fibra foi recolhida da linha de produção e transportada hermeticamente até à Universidade de Aveiro. Aí foi pesada e procedeu-se à formação do colchão, para uma densidade de aproximadamente 850 kg/m^3 , com recurso a um equipamento laboratorial que simulou uma formadora industrial de produção de MDF. No Anexo A são apresentadas as etapas de formação do colchão de fibras, antes do processo de prensagem laboratorial, assim como o cálculo para determinação da massa de fibra a pesar.

Cabe mencionar as diferenças quanto ao processo de prensagem à escala laboratorial e em linha de produção. Neste último, existe um gradiente decrescente de temperatura da cinta metálica entre as fases de entrada dos colchoes de fibra e de saída dos painéis de MDF. EM escala laboratorial, a temperatura utilizada na prensa de laboratório (igual a 210°C) é fixada pelas média de temperaturas praticadas na prensa industrial [22]. É necessário ter em conta que nas placas em que foi adicionada a fibra de vidro, esta foi colocada no momento da formação do colchão tanto na face superior como na face inferior, como apresentado também no Anexo A.

Depois de formado o colchão de fibras, este foi prensado através da prensa laboratorial do Departamento de Mecânica da Universidade de Aveiro, como demonstrado na Figura 12. O objetivo é que a placa obtivesse 6 mm de espessura final, por isso foram adicionadas as barras para esse efeito.



Figura 12 - Processo de prensagem do colchão de fibras, em prensa laboratorial.

O ciclo de prensagem consistiu em fechar a prensa (cerca de 1 minuto), aplicar de seguida uma pressão de 50 mPa durante 1 minuto. De seguida seguiu-se curtos períodos de tempo de alívio e prensagem, sendo a pressão aliviada para 1 mPa durante 15 segundos, uma nova prensagem no mesmo período de tempo e seguido de um alívio de 10 segundos. A prensagem continua durante 5 minutos a 50 mPa (ou seja, cerca de 6 minutos, de prensagem total). A abertura da prensa deu-se durante 30 segundos, sendo as placas arrefecidas ao ar.

Depois da prensagem resulta a placa de MDF com dimensões de aproximadamente 20×20 mm.








Para este trabalho foram produzidos vários tipos de placas de MDF:

- Placas de MDF sem fibra de vidro nas faces (processo convencional);
- Placas de MDF com fibra de vidro (com adesão apenas pela resina existente nas fibras e por ação do calor);
- Placas de MDF com fibra de vidro impregnada com 100% de resina ureia-formaldeído;
- Placas de MDF com fibra de vidro impregnada com 50% de resina ureia-formaldeído.

Para impregnação de resina na fibra de vidro, recorreu-se à distribuição da fibra em rolo e colocou-se durante um determinado período de tempo na estufa antes de formar o colchão de fibra. A resina utilizada foi fornecida pela Sonae Arauco e é a mesma resina utilizada para a produção da fibra utilizada nestes testes.

A nomenclatura e características de cada uma das placas está presente na Tabela 3.

Tabela 3 – Nomenclatura, características principais e representação das placas de MDF produzidas laboratorialmente.

Placa	Caraterísticas				Imagem
	Malha de fibra de vidro	Resina impregnada na malha de fibra de vidro			
		50%	100%	Condições de secagem da resina em estufa	
1					
2					
3	✓				
4	✓				
5	✓		✓	Fibra com resina a 80°C durante 15/20 min.	
6	✓	✓		Fibra com resina a 80°C durante ±30min	
7	✓	✓		Fibra com resina a 80°C durante ±30min	

A Figura 13 representa o conjunto das sete placas produzidas através da prensa laboratorial.

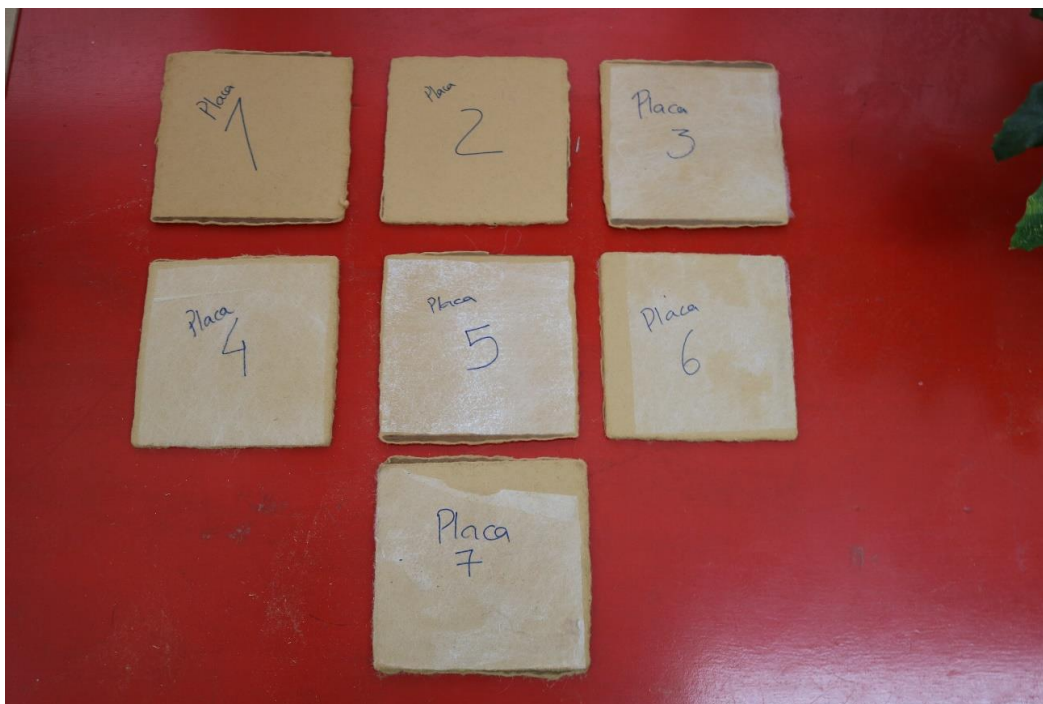


Figura 13 - Representação das sete placas de MDF produzidas laboratorialmente, antes do corte e da realização dos ensaios.

3.2.2. Métodos de Ensaio

Neste segundo trabalho experimental realizado, as placas produzidas na prensa laboratorial foram sujeitas a vários ensaios de forma a comparar os resultados dos testes de qualidade. Os ensaios realizados a todas as placas foram:

- Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão de acordo com a NP 310:2002;
- Inchamento em espessura após imersão em água de acordo com a NP EN 317:2002;
- Determinação do perfil de densidade, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado;
- Teor de humidade de acordo com a norma NP EN 322:2002;
- Determinação da absorção superficial, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado;
- Massa volúmica de acordo com a norma NP EN 323:2002;

3.2.2.1. Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão de acordo com a NP 310:2002[23]

A determinação do módulo de elasticidade em flexão e resistência à flexão resulta da aplicação de uma força ao meio de um provete que está suportado por dois apoios.

Para a realização deste ensaio é necessário que os provetes tenham uma forma retangular e a sua largura ser de 50 ± 1 mm. O comprimento deve ser igual a 20 vezes a espessura nominal mais 50 mm, com um comprimento máximo de 1050 mm e um mínimo de 150 mm.

O módulo de elasticidade é calculado utilizando o declive da parte retilínea da curva de carga-deformação. É necessário ter em conta que o valor calculado é o módulo aparente e não o módulo verdadeiro, pois o método de ensaio utilizado inclui tração e compressão. A Equação 3.2 apresenta a determinação do módulo de elasticidade em flexão, E_m (N/mm^2) de cada provete.

$$E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_2 - a_1)} \quad (3.2)$$

Onde l_1 é a distância entre os centros de apoio (mm), b é a largura do provete (mm), t é a espessura do provete (mm), medida num micrómetro, $F_2 - F_1$ é o incremento de força na seção reta da curva força-deformação (N) e $a_2 - a_1$ é o incremento da flecha a meio-comprimento do provete (que corresponde a $F_2 - F_1$).

A resistência à flexão de cada provete é calculada por determinação da relação entre o momento de flexão. A Equação 3.3 apresenta a determinação da resistência à flexão, f_m (N/mm^2) de cada provete.

$$f_m = \frac{3 F_{m\max} l_1}{2bt^2} \quad (3.3)$$

Onde $F_{m\max}$ é a carga de ruptura (N), l_1 é a distância entre os centros de apoio (mm), b é a largura do provete (mm) e t é a espessura do provete (mm) medida pelo micrómetro.

O equipamento utilizado para a determinação do módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão foi a mesma máquina de ensaios utilizados para o ensaio de tração perpendicular, mudando apenas alguns acessórios da máquina. Foi ainda necessário o programa informático associado à máquina de ensaios.

3.2.2.2. Inchamento em espessura após imersão em água de acordo com a NP EN 317:2002[24]

A determinação do inchamento em provetes resulta da medição do aumento da espessura, após imersão total em água, durante um certo período de tempo. Este cálculo de inchamento é dado em percentagem da espessura do provete antes da imersão.

A imersão dos provetes é realizada numa tina com um banho de água controlado por termostato capaz de manter uma temperatura de $20\pm 1^\circ\text{C}$.

A dimensão dos provetes para este ensaio é quadrada com dimensões de 50×50 mm.

A medição da espessura do provete dá-se na interceção das diagonais das faces do provete analisado.

O cálculo para determinação do inchamento em espessura após imersão em água de cada provete G_t é representado na Equação 3.4.

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (3.4)$$

Onde t_1 é a espessura do provete antes da imersão (mm) e t_2 é a espessura do provete após imersão (mm).

Como foi referido anteriormente, foi necessário realizar a medição da espessura do provete antes e depois da imersão no banho de água.

3.2.2.3. Determinação do perfil de densidade ao longo da espessura, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado

O ensaio de determinação do perfil de densidades de cada provete, é desenvolvido por um método interno que tem como principal objetivo a absorção de radiação gama de baixa energia pelo provete. Este ensaio faz com que seja possível avaliar a distribuição da densidade do material na espessura, avaliar o estado de compactação do núcleo que corresponde à zona mais frágil do material.

Deste teste resulta o diagrama de densidade ao longo da espessura para cada provete analisado, baseando-se nos seus valores de espessura, comprimento e largura.

Os painéis são caracterizados pela densidade máxima na face superior-inferior (relacionada com as propriedades físico-mecânicas e de aplicabilidade, como a qualidade da pintura entre outras), densidade mínima observada na região interna do painel e relacionada com o seu desempenho (ensaio de resistência à tração) e a densidade média que é determinada pela média dos valores

de densidade, ao longo da espessura do painel (maior densidade nas faces e menor densidade no centro), como apresentado na Figura 14 [24].

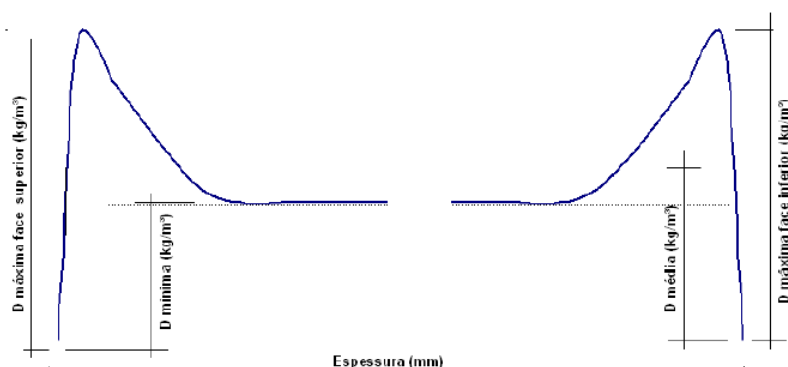


Figura 14 - Parâmetros de densidade aparente de painéis de MDF obtidos através de densitometria de raios X. Modificado de [25]

Para a determinação do perfil de densidade utilizou-se o micrómetro para medir as dimensões do provete, uma balança e a máquina de perfis.

3.2.2.4. Teor de água de acordo com a norma NP EN 322:2002[26]

A determinação do teor de água de um provete, é dada pela pesagem do provete antes e depois do processo de secagem, ou seja, é a determinação da perda de massa de um provete entre o seu estado no momento em que foi retirado e o seu estado após a secagem até à massa constante a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e o cálculo dessa perda de massa do provete após secagem.

O cálculo da perda é realizado em percentagem da massa após a secagem e estes resultados servem para estimar o teor da placa inteira produzida através da amostra, através de um cálculo de média aritmética do teor de água de todos os provetes provenientes da mesma placa.

A Equação 3.4 Representa o cálculo do teor de água, H , de cada provete, em percentagem mássica.

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3.4)$$

Onde m_H é a massa inicial do provete (g) e m_0 é a massa do provete após secagem (g).

Para a determinação do teor de água, é necessário a balança para determinação do peso inicial e final e estufa.

3.2.2.5. Determinação da absorção superficial, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado

A determinação da absorção superficial da placa é obtida pela medição da distância percorrida pelo tolueno derramado sobre cada uma das faces.

O provete tem de ter de dimensões uma largura de 50 ± 2 mm e o comprimento deverá ser de 300 ± 2 mm e as amostras devem ser cortadas ao acaso e serem 3 no mínimo de cada placa de MDF produzida.

A absorção superficial de cada provete em mm é igual ao menor comprimento medido nas duas faces do provete.

3.2.2.6. Massa volúmica de acordo com a norma NP EN 323:2002[27]

A massa volúmica de cada placa é dada pela razão entre a massa e o volume de cada provete, sendo que estes são medidos com o mesmo teor de água.

Para tal é realizada a medição da espessura, comprimento largura e massa de cada provete, fazendo depois a média de todos os provetes da placa medidos.

A Equação 3.5 descreve a forma de cálculo para a determinação da densidade de cada provete, ρ (kg/m^3).

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times E} \times 10^6 \quad (3.5)$$

Onde m é a massa do provete (g), b_1 e b_2 são o comprimento e largura do provete (mm) e E a espessura do provete (mm).

3.2.3. Preparação de Amostras

Para a realização do segundo trabalho experimental, foram produzidas sete placas numa prensa laboratorial com dimensões de aproximadamente 200×200 mm. Depois de produzidas as placas foram mantidas durante algum período de tempo em estabilização e de seguida, iniciou-se o processo de preparação de amostras para a realização dos ensaios referidos acima.

Para tal, inicialmente estabeleceu-se qual os ensaios que se iriam realizar e as quantidades de amostras utilizadas para cada ensaio.

A Figura 14 apresenta anteriormente. apresenta as sete placas produzidas laboratorialmente e o esquema de corte está representado na Figura 15, onde é possível verificar que foram retirados os bordos da placa e cortados 6 provetes com dimensões de 50×50 mm e 1 provete com

dimensão de 50 mm de largura e 20 vezes a espessura da placa mais 50, ou seja, 170 mm para o ensaio do módulo de flexão.

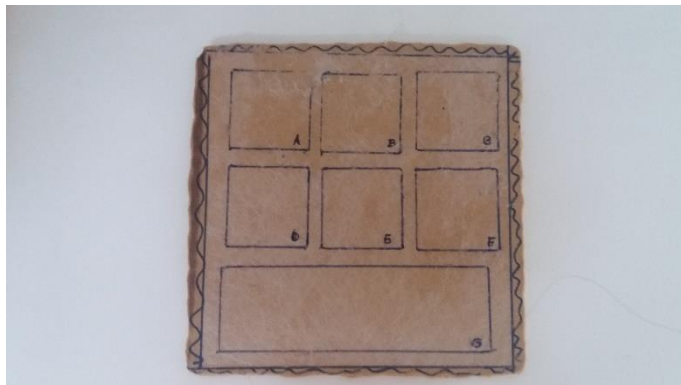


Figura 15 - Esquema de corte, para preparação das amostras de cada placa produzida laboratorialmente.

Como o ensaio da determinação da massa volúmica e do perfil de densidade não danifica os provetes, estes ensaios foram realizados com os seis provetes de 50×50 mm.

Os restantes ensaios foram distribuídos da seguinte forma, como representado na Figura 16.

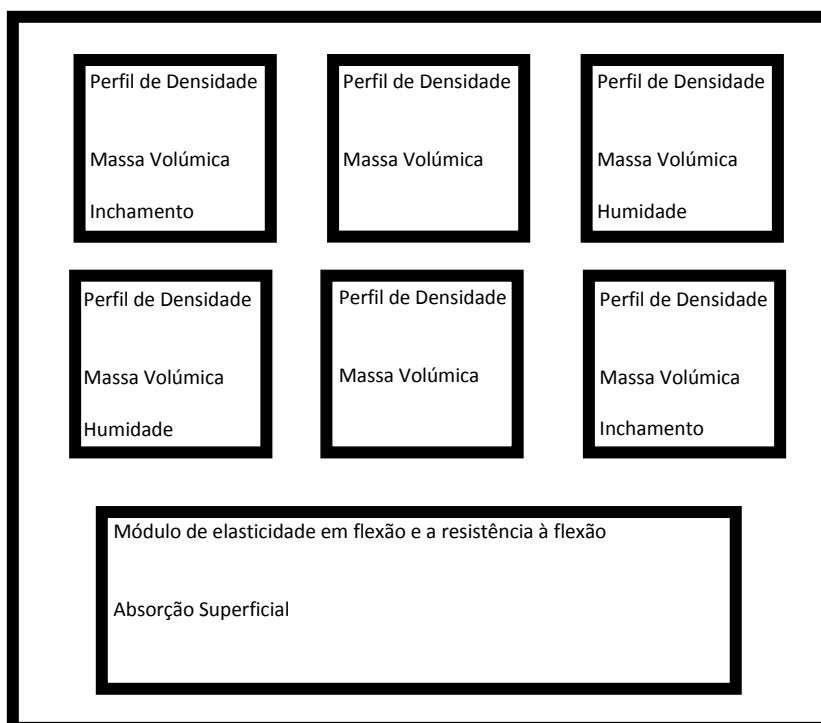


Figura 16 - Distribuição de ensaios a realizar, pelas amostras disponíveis em cada placa após corte.

Depois de estabelecido o esquema de corte, as placas foram cortadas com auxílio da serra de laboratório. O restante material da placa que sobrou do corte, foi guardado como amostra. No Anexo A estão representados os provetes, após o corte, para a realização do ensaio assim como as amostras.

3.2.4. Procedimento Experimental

O procedimento experimental varia consoante o ensaio a realizar, como é apresentado abaixo.

3.2.4.1. Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão de acordo com a NP 310:2002

Para a realização do ensaio do módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão é necessário ter os provetes cortados com a dimensão adequada. Neste caso, segundo a norma e visto que a placa tinha a espessura final de 6 mm, a placa usada para este ensaio tinha de largura 50 mm e de comprimento 20 vezes a sua espessura mais 50 mm, ou seja, 170 mm de comprimento.

Antes do ensaio propriamente dito, foi medida a espessura e largura de cada provete, de forma a inserir os valores no programa informático para registo de valores de carga e extensão. Depois da placa cortada, foram inseridos os acessórios apropriados para o teste na máquina de ensaios. De seguida, regulou-se ao milímetro a distância dos apoios cilíndricos da máquina de ensaios de acordo com a espessura da placa a realizar o ensaio, ou seja, a distancia entre o centro dos apoios terá de ser 20 vezes a espessura nominal da amostra.

Colocou-se o provete entre os apoios, com o seu eixo longitudinal perpendicular aos eixos dos apoios e com o centro sob o cilindro de carga e ativou-se a maquina de ensaios.

A Figura 17 representa a realização do ensaio do módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão.

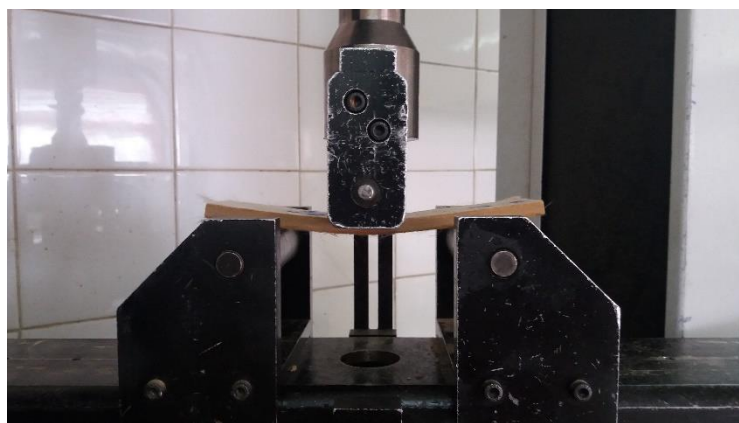


Figura 17 - Realização do ensaio do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão

3.2.4.2. Inchamento em espessura após imersão em água de acordo com a NP EN 317:2002

Para a realização do ensaio de Inchamento em espessura após imersão em água é necessário que os provetes para ensaio tenham uma dimensão de 50×50 mm.

Depois da placa cortada e seleccionados os provetes para o referido ensaio, foi necessário medir a sua espessura inicial com o auxílio de um espessímetro, como apresentado na Figura 18.



Figura 18 - Micrómetro utilizado para a medição da espessura do provete antes e depois da realização do ensaio.

De seguida, e depois de medida e registada a espessura exata dos 14 provetes (2 provetes de cada uma das 7 placas), estes foram inseridos suavemente no banho previamente colocados numa caixa metálica própria, com as faces dos provetes na vertical e distanciados de pelo menos 15 mm entre si e do fundo da tina. A imersão também deve respeitar uma distancia de pelo menos 25 a 30 mm entre o topo superior dos provetes e o nível de água, como demonstra na Figura 19.



Figura 19 - Colocação dos provetes em banho, para realização do ensaio de inchamento em espessura.

Depois da imersão dos provetes e ao longo das 24 horas de imersão a temperatura da tina foi controlada com o auxílio de um termostato de forma a verificar se esta se mantinha dentro dos parâmetros da norma.

Decorridas as 24 horas de ensaio, os provetes foram retirados da tina, a água em excesso foi removida com o auxílio de papel absorvente e foi medida a espessura final dos provetes com o auxílio do espessímetro e novamente registada, para posterior cálculo.

3.2.4.3. Determinação do perfil de densidade, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado

A determinação do perfil de densidade de cada provete é realizada por um método interno com o auxílio de um equipamento de radiação gama de baixa energia.

Para a realização deste ensaio é necessário que os provetes tenham uma dimensão de 50×50 mm.

Depois de cortada a placa e visto este teste não danificar os provetes, realizou-se o teste a todos os provetes de 50×50 mm de cada uma das 7 placas analisadas.

Inicialmente, foi necessário medir a dimensão de cada provete individualmente, ou seja, medir a sua espessura, comprimento, largura e peso com o auxílio das máquinas utilizadas para determinação da massa volúmica.

Depois de registadas as dimensões de cada provete, inseriu-se os 6 provetes na máquina de ensaios separados por placas de metal com representado na Figura 20.

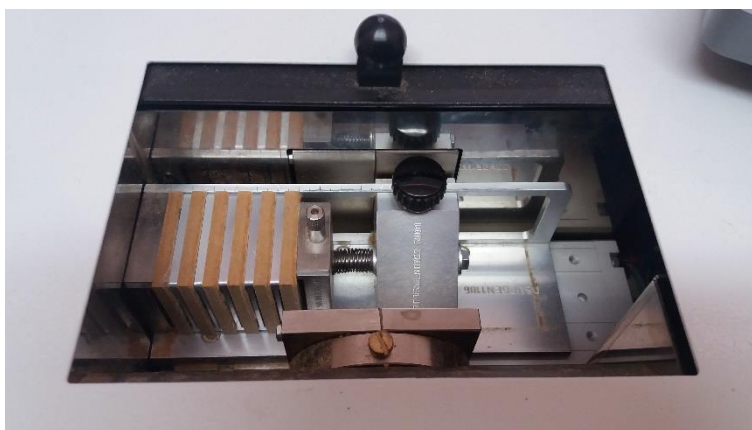


Figura 20 - Realização do ensaio de determinação de perfis de densidade.

Depois, para cada provete da placa, inseriu-se no sistema informático associado à placa de ensaios as dimensões do provete. De seguida, iniciou-se o teste de determinação do perfil de densidade do provete.

No final de concluído o teste, foi recolhido do programa informático o diagrama de densidade em função da espessura para cada 1 dos 6 provetes da placa analisada.

3.2.4.4. Teor de água de acordo com a norma NP EN 322:2002

O ensaio para determinação do teor de água necessita que o provete tenha dimensões compreendidas de 50x50 mm.

Depois de cortada a placa e selecionados os provetes para a realização do ensaio referido, foi medido e registado o peso dos 14 provetes (2 provetes por cada uma das 7 placas) com o auxílio de uma balança.

De seguida, colocou-se os provetes na estufa com a temperatura de $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ e manteve-se até a sua massa constante. A massa considera-se constante depois de duas pesagens sucessivas, efetuadas com um intervalo de 6 horas, onde a massa pesada não difere mais de 0,1% da massa do provete.

Depois do período de secagem na estufa e depois de se verificar a massa constante, retirou-se os provetes da estufa e pesou-se e registou-se os valores de massa final para posterior realização dos cálculos.

3.2.4.5. Determinação da absorção superficial, segundo o método interno utilizado para a produção do material testado

Para a realização do ensaio de absorção superficial, segundo a norma era necessário o provete de teste ter uma dimensão de 50 ± 2 mm de largura e o comprimento deverá ser de 300 ± 2 mm. Como a placa produzida não permitia essas dimensões nem um provete exclusivo para esse ensaio, utilizou-se um provete com dimensões de 50 mm de largura e 170 mm de comprimento. Este provete também foi utilizado para a determinação do módulo de flexão e resistência à flexão, mas como este ensaio não partiu completamente a placa e não danificou as suas propriedades químicas, foi realizado o ensaio de absorção superficial com este provete

Sendo assim, o provete foi colocado ao alto sobre o suporte indicado, com uma inclinação de 60° para a realização do teste. O suporte está apresentado na Figura 21.



Figura 21 - Equipamento utilizado para a determinação da absorção superficial da placa de MDF.

Depois dos provetes ser colocado no suporte, mediu-se 1 ml de tolueno com o auxílio de uma pipeta. De seguida, colocou-se a pipeta perpendicular à face do provete (realizando assim um ângulo 90°) e a uma distância do mesmo de cerca de 1 mm e deixou-se verter o tolueno da pipeta sobre a face do provete, deixando escorrer livremente.

Registou-se a distância percorrida pelo tolueno, em mm, com o auxílio de uma régua, determinando o comprimento máximo do rasto deixado pelo tolueno seguindo uma linha paralela aos bordos do provete.

De seguida, realizou-se o mesmo procedimento para a outra face do provete.

3.2.4.6. Massa volúmica de acordo com a norma NP EN 323:2002

Para a realização do ensaio de determinação da massa volúmica é necessário que os provetes tenham uma dimensão de 50×50 mm. Depois de cortada a placa e visto este teste não danificar os provetes, realizou-se o teste a todos os provetes de 50×50 mm de cada uma das 7 placas analisadas.

Sendo assim, recorreu-se á maquina de ensaios composta por um micrómetro e uma balança de forma a medir a espessura, largura, comprimento e massa de cada provete.

Inicialmente a espessura foi medida no ponto de interseção das diagonais do provete. O comprimento e a largura foram medidos nos dois pontos situados no centro dos bordos opostos do provete. Por fim, a massa foi determinada com auxílio da balança até à 0.01 g.

Depois de medidos estas quatro dimensões foram registadas as mesmas para posterior cálculo da massa volúmica.

Capítulo 4. Resultados e Discussão

4.1. Ensaio Comparação de IB

A primeira etapa do trabalho experimental desenvolvido tinha com objetivo avaliar a influência da alteração de certas variáveis no procedimento experimental realizado às amostras de MDF produzido industrialmente antes da realização do ensaio de tração perpendicular às faces da placa de MDF, como esquematizado nas Tabelas 1 e 2. Assim foram realizados três procedimentos diferentes, designados de série I, II e III para três produtos distintos de MDF (produto de A, B e C). Para cada produto foram realizados ensaios com as três séries de procedimentos experimentais, sendo que na primeira série (Série I) as amostras de MDF foram previamente condicionadas numa atmosfera controlada e no momento em que os provetes são colados (com o auxílio de cola termofusível) aos suportes metálicos, o arrefecimento deste conjunto é realizado num banho de $18\pm 3^{\circ}\text{C}$. Na série II os provetes de MDF não são previamente condicionados e o arrefecimento do suporte metálico é realizado também no banho, como a série anterior citada. Por fim, na série III os provetes não são condicionados e o arrefecimento do conjunto provete-suporte metálico é realizado de forma abrupta numa arca a uma temperatura de -5°C .

No seguimento da realização do ensaio de resistência à tração perpendicular às faces da placa de MDF para os diferentes tipos de MDF, foi possível obter os valores de carga e de tração, presentes no Anexo C. Após os resultados obtidos, realizou-se o tratamento de resultados através do software Matlab.

É de realçar que o primeiro tipo de MDF, tipo A, com espessura de 18 mm a amostragem correspondia a 30 provetes por série. Para os restantes tipos de MDF testados, tipo B e C, a espessura foi de 6 e 15 mm, respetivamente, a amostragem correspondeu a 10 provetes por série. Sendo que, para cada uma das séries - série I, II e III – foi alterado o procedimento antes da realização do ensaio de tração, como referido anteriormente na Tabela 1. Os gráficos podem ser observados nas Figuras 22,23 e 24.

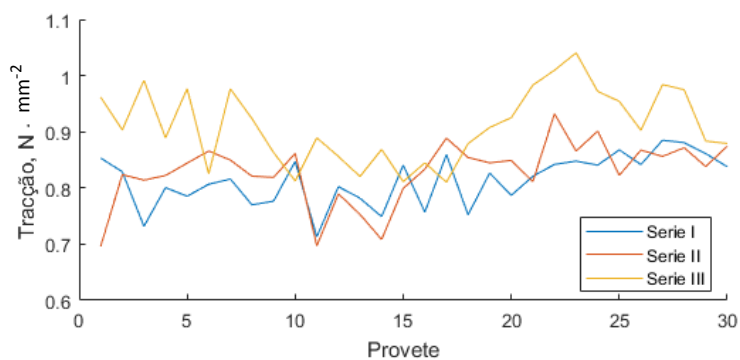


Figura 22 - Representação dos valores de tração de cada provete do tipo A (18 mm), para cada série.

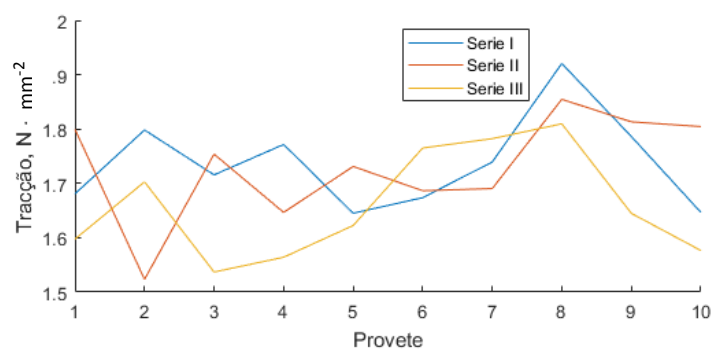


Figura 23 - Representação dos valores de tração de cada provete do tipo B (6 mm), para cada série.

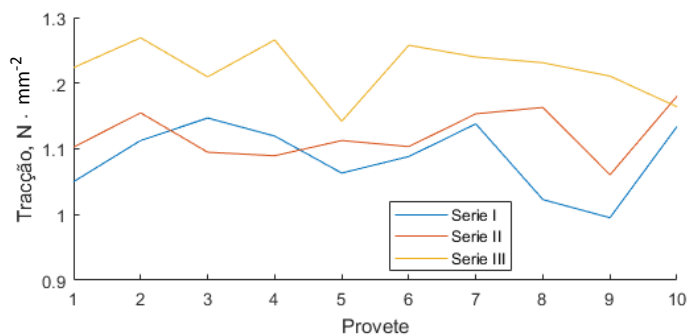


Figura 24 - Representação dos valores de tração de cada provete do tipo C (15 mm), para cada série.

Pela observação das figuras é possível verificar que para as espessuras superiores testadas, 18 e 15 mm do tipo A e C, respetivamente os valores de tração obtidos são superiores para a terceira série onde a amostra é estabilizada com arrefecimento rápido numa arca. Nestes mesmos dois tipos de MDF, a série na qual se obtêm valores mais baixos de tração é na série I onde os provetes foram condicionados após o corte e antes da realização do ensaio.

Para os três tipos de MDF estudados, a diferença entre os provetes condicionados (série I) e não condicionados (série II), visto que a estabilização da amostra se dá igualmente no banho, não é muito significativa, sendo a série I geralmente inferior.

Em relação ao MDF do tipo B, de 6 mm de espessura, a série I é a que se obtém valores de tração superiores. Ou seja, os provetes condicionados e com estabilização em banho são os que é necessária uma carga superior para haver a ruptura do provete, enquanto os provetes em que a estabilização foi feita com arrefecimento rápido tiveram valores de tração inferiores comparativamente com as outras duas séries.

É de realçar que todos estes valores, estão acima do valor mínimo necessário pela norma para a realização do ensaio de resistência à tração perpendicular às faces da placa de MDF. Foi realizada a análise estatística dos resultados obtidos, como apresentados na Tabela 5, onde é possível verificar a média, o desvio padrão, máximo, mínimo e intervalo de confiança de 95%. O código de Matlab que permitiu a análise estatística está presente no Anexo D [28], [29].

Tabela 4 - Valores de média, desvio padrão, mínimo, máximo e intervalo de confiança para todas as séries e produtos de MDF estudados.

	Tipo de Produto MDF	Espessura (mm)	Séries		
			I	II	III
$R_{médio}$ (N/mm^2)	A	18	0,8136	0,8292	0,9106
	B	6	1,7378	1,7304	1,6602
	C	15	1,0871	1,1215	1,2214
Desvio Padrão	A	18	0,0451	0,0557	0,0657
	B	6	0,0852	0,0980	0,0984
	C	15	0,0523	0,0388	0,0420
$R_{mínimo} - R_{máximo}$ (N/mm^2)	A	18	0,7129 - 0,8849	0,6964 - 0,9320	0,8101 - 1,0405
	B	6	1,6451 - 1,9205	1,5235 - 1,8547	1,5370 - 1,8096
	C	15	0,9952 - 1,1470	1,0603 - 1,1802	1,1420 - 1,2691
Intervalo de Confiança (95%)	A	18	0,8136 ± 0,0168	0,8292 ± 0,0208	0,9106 ± 0,0246
	B	6	1,7378 ± 0,0609	1,7304 ± 0,0701	1,6602 ± 0,0704
	C	15	1,0871 ± 0,0374	1,1215 ± 0,0277	1,2214 ± 0,0300

Os resultados obtidos são valores característicos dos tipos de produtos testados e estão de acordo com a norma EN 622-5 Fiberboards. Specifications–Part 5: Requirements for dry process boards (MDF).

Através da comparação entre produtos de MDF, como foi supramencionado, os produtos com espessura maior, ou seja A e C, consegue-se obter valores superiores de tração quando os provetes, depois da colagem no suporte metálico, são submetidos ao arrefecimento rápido.

Este acontecimento tem várias explicações. Sendo na primeira série os provetes condicionados antes do ensaio, esse procedimento aumenta a humidade no provete de madeira, o que faz com que aumente as pontes de hidrogénio entre a água e as fibras e sendo assim a carga necessária para partir o provete é inferior, devido à diminuição das ligações interfibrilares. Isto pode ser verificado comparando os provetes que têm a estabilização da temperatura no banho, mas sendo a primeira série são condicionados e a segunda não, onde os resultados de tração são bastantes idênticos, sendo que para os provetes condicionados a humidade é superior o que faz com que os valores de tração ligeiramente inferiores neste último caso.

Quando os provetes são submetidos a arrefecimento rápido os resultados são superiores. Ao colocar os provetes colados com o suporte metálico na arca este procedimento altera as propriedades tanto da cola como do provete.

Quando se coloca na arca, a humidade do provete diminui drasticamente o que faz com que a sua estrutura fique “consolidada” e por isso é necessária uma maior carga para partir o provete. Em relação à resina presente no interior das fibras, o facto de estar exposta a temperaturas bastantes inferiores altera as suas propriedades. Quando os provetes são submetidos ao arrefecimento abrupto a humidade baixa drasticamente o que faz com que os valores de tração sejam superiores. Os provetes condicionados têm uma maior percentagem de humidade, logo valores de tração inferiores.

Ou seja, nestas situações de maior espessura, com a arca os resultados de tração melhoram, mas não é de todo o mais indicado, visto que alteramos as propriedades dos materiais envolvidos, levando a concluir que o procedimento utilizado na norma é o mais viável.

Para o caso do produto B, a situação é um pouco diferente visto que os resultados invertem comparativamente aos produtos A e C (de espessuras superiores). Ou seja, para os produtos descritos anteriormente (A e C) a série na qual os valores de tração são mais elevados é a terceira série e a primeira série obtém os valores inferiores para o mesmo ensaio. Já para o produto B, de espessura de 6 mm, os resultados de tração mais elevados são obtidos para a primeira série e os valores mais baixos são obtidos na terceira série.

A explicação para este acontecimento será a diferença de espessura dos produtos testados, dado que quando a espessura é de 18 e 15 mm a tração é mais elevada para a terceira série e para os provetes de 6 mm acontece o oposto, na mesma ordem de grandeza. Nas espessuras mais baixas,

sendo que há aumento da taxa de conversão de resina, a densidade do provete aumenta o que torna a placa mais homogénea e há uma maior possibilidade da criação de tensões internas. Neste tipo de espessura, também é utilizada mais cola na colagem do provete ao suporte metálico, o que faz com que a condução térmica do suporte metálico tenha mais influencia nas espessuras inferiores.

Em suma, quando as espessuras são superiores o suporte metálico quente (para a fusão da cola termofusível, de forma a obter o conjunto provete-suporte metálico) transmite calor por condução térmica, mas apenas nas faces externas do provete. Quando as espessuras são inferiores, o calor é transferido para toda a espessura do provete, o que altera a matriz rígida da resina (adquirida durante a prensagem) e danifica as propriedades, das faces ao núcleo o que faz com que com os resultados de tração sejam inferiores para o caso onde o arrefecimento é realizado na arca a -5°C .

4.2. Ensaios Realizados à nova placa de MDF

De forma a comparar a viabilidade da placa de MDF produzida com fibra de vidro, realizaram-se vários ensaios para cada umas das 7 placas produzidas laboratorialmente, nomeadamente:

- Determinação da massa volúmica
- Determinação do teor de humidade
- Inchamento em espessura após imersão em água
- Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão
- Determinação da absorção superficial
- Determinação do perfil de densidade

Apesar da fibra ser recolhida da linha de produção em ambiente industrial este trabalho experimental em ambiente laboratorial, não pode ser comparado com as propriedades finais da placa produzida em ambiente industrial visto que o ciclo de prensagem no qual as placas foram obtidas foi completamente diferente. Em ambiente industrial a placa de MDF foi produzida numa prensa contínua, enquanto que na prensa laboratorial obteve-se um tempo de prensagem de 1 minuto por milímetro, para o 6 mm da placa final de MDF produzida. O ciclo de prensagem realizado laboratorialmente está representado na Figura 25.

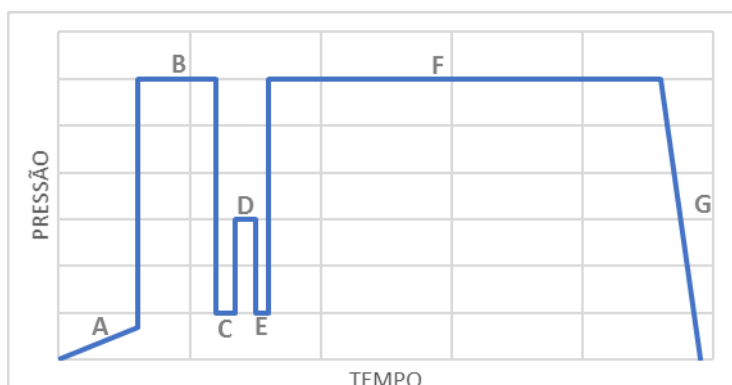


Figura 25 - Representação do ciclo de prensagem utilizado para produção das placas de MDF em escala laboratorial.

Onde A corresponde ao fecho da prensa, B o tempo da primeira prensagem (1 minuto), C corresponde ao alívio da prensa, D um curto tempo de prensagem seguido novamente de um alívio em E, F corresponde ao tempo da segunda prensagem (5 minutos) e G ao final do ciclo de prensagem, onde é reduzida a pressão da pressão até zero.

Foram produzidas 7 placas de MDF com 4 modos de produção diferentes e sendo assim na Tabela 5 são apresentados os valores médios dos vários provetes analisados e das placas com o mesmo modo de produção. Os resultados detalhados estão presentes no Anexo E.

Tabela 5 - Resultados médios das propriedades testadas (Massa Volúmica, Teor de Humidade, Inchamento em Espessura, Módulo de elasticidade em flexão e a resistência em flexão e absorção superficial) para as sete placas de MDF produzidas laboratorialmente.

Ensaios						
Placa	Massa Volúmica (kg/m ³)	Teor de Humidade (%)	Inchamento em espessura (%)	Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão (N/mm ²)		Absorção superficial (mm)
				Módulo de elasticidade em flexão	Resistência à flexão	
1 e 2	777,05	4,84	67,8	2 496,4	29,0	56,5
3 e 4	781,28	4,99	62,0	2 266,6	29,3	49,5
5	783,40	4,60	66,3	2 189,3	23,5	55,0
6 e 7	804,90	4,73	64,3	2 847,1	28,1	67,5

Este segundo trabalho experimental tinha como principal objetivo avaliar a influência da adição de uma fibra de vidro em ambas as faces da placa de MDF. Relembrando as características de cada placa, a placa 1 e 2 foi produzida sem qualquer tipo de fibra, a placa 3 e 4 foi produzida com fibra de vidro de ambos os lados da placa de MDF com adesão apenas pela resina existente nas fibras e por ação do calor, a placa 5 foi produzida com fibra de vidro impregnada com 100% de resina ureia-formaldeído (m/m) em ambas as faces e as placas 6 e 7 também com fibra de vidro, mas com impregnação de resina em 50% (m/m), como esquematizado na Tabela 3.

4.2.1. Determinação da massa volúmica

Em relação ao ensaio de determinação da massa volúmica da placa de MDF, é possível verificar que há medida que são produzidas as placas, a massa volúmica calculada da placa aumenta. Só o facto da placa produzida ter uma espessura inferior (cerca de 6 mm) a densidade é maior. A placa que tem o processo de produção convencional, sem fibra de vidro, (placa 1 e 2) é a que obteve valores de densidade inferiores e a placa com fibra de vidro impregnada com resina a 50% (placa 6 e 7) é a placa que obtém valores de densidade superiores.

Dado que a matéria prima é a mesma para todas as placas produzidas isto faz com que a densidade da espécie de madeira utilizada não influencie a densidade da placa final produzida, por isso pode-se concluir que o aumento de densidade nas placas produzidas deve-se a uma maior compactação, maior contato entre as partículas e o adesivo. Ou seja, nas placas que possuem a fibra de vidro e, principalmente as placas que são produzidas com fibra de vidro com impregnação de resina a 50%(m/m), têm mais compactação entre as partículas e do adesivo.

4.2.2. Determinação do teor de água

Através dos resultados obtidos do teor de humidade, é possível verificar que a adição da fibra de vidro em cada face da placa de MDF faz com que as propriedades de humidade do painel melhorem.

Em relação a este estudo em concreto a humidade é dos fatores mais importantes a serem testados, visto que assim seria possível verificar se adição da fibra de vidro melhoraria as suas propriedades em relação a determinadas condições de temperatura a que a placa estaria sujeita depois da comercialização.

Sendo assim, verificou-se que a placa que teve um teor de humidade inferior foi a placa que continha a fibra de vidro com impregnação de 100%, sendo que as placas em que os resultados de teor de humidade são superiores são as placas 3 e 4, com fibra de vidro e sem impregnação de resina entre a fibra e a placa.

Com os resultados obtidos conclui-se que as placas com fibras de vidro e com impregnação de resina entre a placa e a fibra obtêm melhores propriedades de teor de humidade comparativamente às placas produzidas convencionalmente.

4.2.3. Inchamento em espessura após imersão em água

Relativamente aos resultados de inchamento em espessura após imersão em água, pode-se verificar que estes resultados são inviáveis, visto que os resultados obtidos têm uma média de percentagem de inchamento de 65%, ou seja, consideravelmente alta. Sendo assim, com as condições de produção realizadas laboratorialmente a placa produzida não teria praticamente nenhuma resistência à água, ainda assim é possível realizar a comparação de resultados entre as placas com e sem vidro de vidro. Estes resultados de inchamento altos, devem-se ao facto da placa produzida laboratorialmente, não conter faces, o que aumenta a penetração de água nas faces.

Os resultados de inchamento em espessura após imersão em água revelam o melhoramento das propriedades de inchamento de água em todas as placas com fibra de vidro com e sem impregnação de resina. As placas com fibra de vidro sem impregnação de resina foram as placas que obtiveram melhores valores de inchamento após imersão em banho de água, seguidas das placas com fibra de vidro com impregnação de resina de 50%. A placa produzida com fibra de vidro com impregnação de resina a 100% também obteve valores de inchamento melhores comparativamente às placas produzidas convencionalmente (sem fibra de vidro).

4.2.4. Módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão

No ensaio do módulo de elasticidade em flexão e resistência à flexão tem como objetivo perceber a resistência da placa quando esta é apoiada nas extremidades da placa e uma força é exercida no centro. No geral, as placas com fibra de vidro apresentam melhores valores de elasticidade em flexão e resistência à mesma.

No ensaio do módulo de elasticidade em flexão as placas que revelaram melhores resultados foram as placas com fibra de vidro com impregnação de resina a 50%, enquanto a que obteve valores mais inferiores foi a placa que contém fibra de vidro com 100% de resina impregnada. Este último resultado deve-se ao facto da placa com fibra de vidro impregnada com 100% de resina apresentar uma aparência mais “consistente” relativamente às outras placas produzidas, como se pode verificar nas Figuras 26 e 27 comparando as placas com fibra de vidro com utilização de resina, em 50% e 100%, respetivamente.



Figura 27 - Placa número 7 produzida laboratorialmente com fibra de vidro e impregnação com 50% de resina.



Figura 26 - Placa número 5 produzida laboratorialmente com fibra de vidro e impregnação com 100% de resina.

Relativamente ao ensaio de resistência à flexão, as placas 3 e 4 que contêm fibra de vidro apenas com adesão por ação do calor e da resina existente nas fibras revelaram maior resistência à flexão, sendo que a que revelou menores valores foi a placa também com fibra de vidro mas sem resina impregnada. Isto porque esta última placa, como referido anteriormente, apresentava uma aparência mais “consistente” (como é possível verificar nas imagens), o que leva à quebra mais facilmente.

Estes resultados não apresentam uma diferença muito significativa entre eles, visto que a fibra de vidro utilizada era bastante fina, o que levou a que os resultados não fossem tão relevantes quanto seria espetável.

4.2.5. Determinação da absorção superficial

O ensaio da absorção superficial permite ter uma noção do comportamento da placa produzida, relativamente à sua capacidade de absorção, como por exemplo para posterior aplicação de tinta ou vernizes na placa, que tem normalmente como finalidade revestimentos interiores.

Quanto maior a distância percorrida pela gota de tolueno, menor é a capacidade de absorção da placa. Sendo assim, as placas que demonstraram melhores resultados de absorção superficial foram as placas revestidas com fibra de vidro com impregnação de resina em 50%. A que revelou menores valores de absorção superficial foi a placas 3 e 4, que continham fibra de vidro, mas a sua adesão à placa era feita apenas com ação do calor da prensa e da resina existente nas fibras, ou seja, como a distância percorrida pela gota de tolueno foi menor a placa absorveu mais, o que não é o pretendido, porque no caso de aplicação de tintas iria exigir um consumo de tintas superior.

Pela avaliação dos resultados de cada placa em concreto, sem fazer as médias das placas com o mesmo tipo de produção, a placa que revela piores propriedades a nível da absorção é a primeira placa produzida sem fibra de vidro, que obteve uma distância percorrida pelo tolueno de 44 mm.

4.2.6. Determinação do perfil de densidade

O ensaio para determinação do perfil de densidade das placas foi realizado a todas as seis amostras de cada uma das 7 placas produzidas. Os perfis de densidade obtidos de todas as amostras são apresentados no Anexo F.

A Tabela 6 apresenta os valores de densidade mínima observada na região interna do painel (correspondente ao núcleo da placa), de densidade máxima na face superior e inferior da placa e densidade média dos valores de densidade obtida ao longo da espessura do painel. Todos estes valores correspondem as médias de todos os provetes para cada placa e dos conjuntos de placas produzidos com o mesmo procedimento.

Tabela 6 - Valores de densidade mínima, média e máxima obtida pelos valores médios dos perfis de densidade de cada uma das placas produzidas laboratorialmente.

Placas	Densidade mínima (<i>kg/m³</i>)	Densidade média (<i>kg/m³</i>)	Densidade máxima (<i>kg/m³</i>)
1 e 2	834,8	781,3	923,0
3 e 4	866,6	785,3	950,1
5	879,9	786,8	955,5
6 e 7	862,1	808,1	944,0

Relativamente à densidade média que é determinada pela média dos valores de densidade ao longo da espessura do painel, é possível verificar que está a aumentar à medida que vão sendo produzidas as placas.

A densidade máxima determinada pelas faces superiores e inferiores do painel de MDF está relacionada com determinadas propriedades de aplicabilidade. Sendo assim, é possível verificar que a densidade máxima é obtida na placa produzida com fibra de vidro com impregnação de resina de 100% (m/m). Este resultado deve-se ao facto o perfil de densidade determinar os picos das faces superiores e inferiores da fibra de vidro nos provetes. As placas onde a densidade máxima é inferior é na placa que não tem qualquer fibra de vidro acoplada, como seria de esperar. Ou seja, nesta última os picos devem-se exclusivamente as faces de MDF produzido.

Por último, a densidade mínima que é observada na região interna do painel (o núcleo da placa) está principalmente relacionada com o desempenho final da placa produzida, como a resistência à tração. Esta obtém sempre valores inferiores de densidade visto que durante a prensagem os pratos aquecidos da prensa transmitem calor ao colchão de fibra, onde a humidade do colchão é transformada em vapor, o que leva à compressão do painel, devido à plastificação da lenhina. Quando o centro do painel (ou seja, o núcleo) atinge a temperatura que levaria à sua maior

compactação, o painel já atingiu a espessura necessária e não é mais compactado, logo a sua densidade não aumenta tanto como nas faces do painel.

Sendo assim, a densidade mínima inferior é detetada nas placas com produção convencional (sem fibra de vidro ou adesão de resina). A densidade mínima é superior na placa que é composta por fibra de vidro com resina a 100%, seguindo-se das placas com fibra de vidro e sem resina impregnada e, por fim, as placas produzidas com fibra de vidro e 50% de resina. Sendo que o ciclo de prensagem foi o mesmo para todas as placas produzidas significa que na placa 5, foi possível obter uma maior compactação da placa durante o processo de prensagem e na placa obtida convencionalmente foi onde se obteve uma menor compactação.

Em relação a propriedades físico-mecânicas como a resistência à tração, os resultados da densidade mínima é que permitem tirar alguma conclusão. Sendo assim, a placa que ofereceria melhores valores de resistência à tração seria a placa com fibra de vidro e resina a 100%, visto que tem os valores de densidade do núcleo superiores e por isso demonstra mais compactação do mesmo, logo, mais resistência.

Nas Figuras 28 a 31 são apresentados os perfis de densidade para a placa A de cada uma das 7 placas produzidas laboratorialmente.

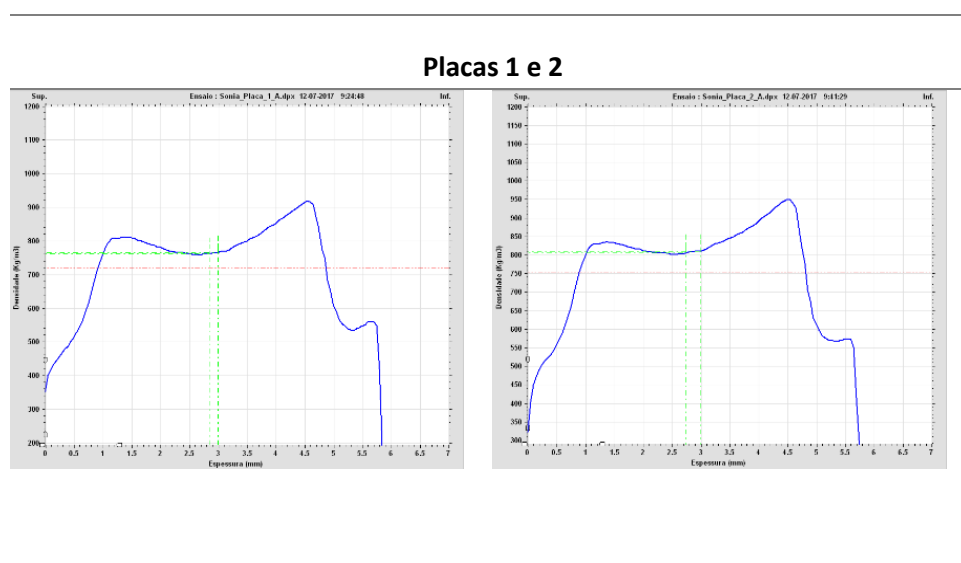


Figura 28 - Perfil de densidade da amostra A das placas produzidas convencionalmente (sem fibra de vidro).

Placas 3 e 4

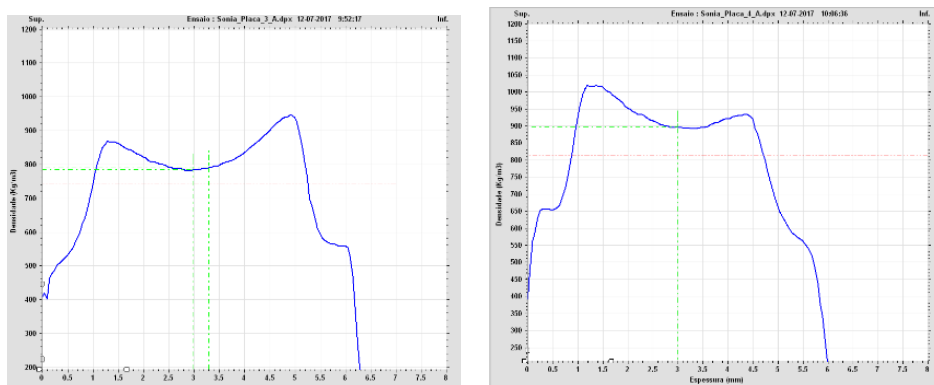


Figura 29 - Perfil de densidade da amostra A das placas produzidas com fibra de vidro com adesão por ação do calor e da resina existente nas fibras.

Pela observação do perfil de densidade das placas produzidas convencionalmente e com fibra de vidro sem impregnação de resina entre a fibra e a placa (ou seja, apenas por ação do calor durante o processo de prensagem e da resina existente nas fibras), é possível verificar que estas não diferem muito (Figuras 28 e 29). É possível verificar que inicialmente a densidade vai aumentando gradualmente ao longo da espessura do painel. Isto deve-se ao facto da fibra utilizada conter resina previamente curada e durante a prensagem o processo de cura ainda ocorreu, o que afetou a reticulação da resina. Este perfil revela um contraste de densidade pouco acentuado, visto que a diferença entre a densidade máxima das faces e a densidade mínima do núcleo não é muito significativa.

Placa 5

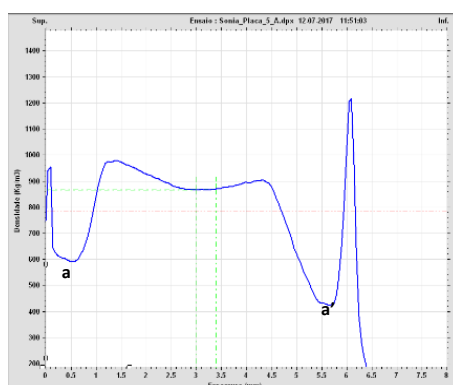


Figura 30 - Perfil de densidade da amostra A da placa produzida com fibra de vidro impregnada de resina a 50%.

Na observação do perfil de densidade da placa 5 já possível verificar diferenças significativas, como demonstrado na Figura 30. Esta placa foi produzida com fibra de vidro em ambas as faces da placa de MDF, mas de forma a haver uma melhor adesão foi adicionada resina à fibra antes da prensagem, em 100%. Sendo assim verificam-se tanto na face inferior como superior dois picos que corresponde precisamente à fibra de vidro.

Os pontos a e a' representados na imagem representam o efeito da adição da resina na fibra de vidro antes da realização do processo de prensagem. Este decréscimo de densidade entre a fibra de vidro e a placa de MDF torna a ligação frágil o que vai afetar negativamente propriedades como o inchamento em espessura após imersão em água. Estes pontos a e a' também se devem ao facto da resina utilizada ser previamente seca e ter sido submetida ao transporte até ao laboratório, o que faz com que o processo não seja contínuo, o ideal era que após recolha da fibra esta fosse imediatamente pesada e colocada na formadora, o que não aconteceu.

Placas 6 e 7

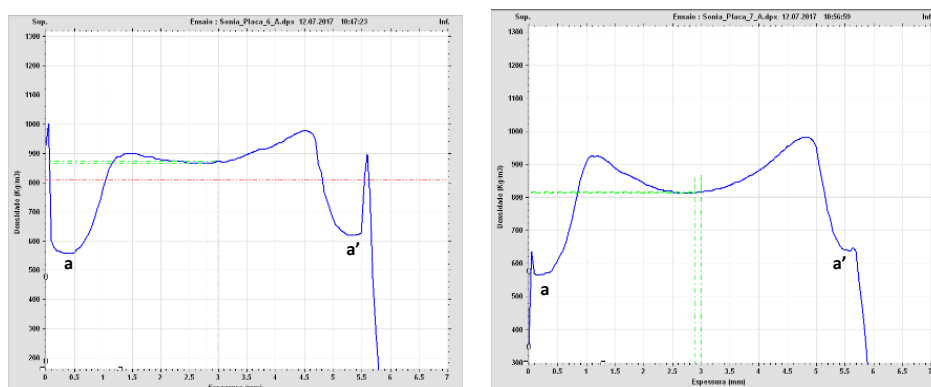


Figura 31 - Perfil de densidade da amostra A das placas produzidas com fibra de vidro impregnada de resina a 100%.

Nestas duas últimas placas produzidas laboratorialmente, o teor de resina adicionado à fibra de vidro, foi alterado de 100% (placa 5) para 50% (placa 6 e 7). Este procedimento faz com que novamente seja possível verificar os picos de densidade na face inferior e superior da placa de MDF, sendo que a diferença de um procedimento para o outro está na densidade obtida nos pontos a e a'. Esta diferença reside no facto de que na situação em que é adicionada mais resina à placa esta obtém uma maior compactação e sendo assim um maior valor de densidade. Na placa que em que é impregnada menos resina na fibra de vidro, ocorre menos compactação e sendo assim a densidade é um pouco inferior.

O aspeto relacionado com a influencia deste perfil no inchamento em espessura após imersão em água, também se verifica neste caso. Ao colocar mais resina, vai fazer com que haja o aumento da compactação e sendo assim aumento de da densidade nos pontos referidos, o que iria melhorar a resistência da placa e conseqüentemente as propriedades físico-mecânicas da placa final obtida.

Capítulo 5. Conclusões

O objetivo da presente dissertação centrava-se na avaliação da variação de parâmetros relacionados com a produção de MDF. Numa primeira etapa do trabalho experimental avaliou-se a influência da alteração de variáveis ao nível do condicionamento e arrefecimento dos suportes metálicos (utilizados na colagem dos provetes de MDF) no ensaio de resistência interna às faces da placa de MDF, em três tipos de produtos distintos. Na segunda etapa do trabalho experimental realizado testou-se o acabamento de uma placa de MDF com tecido não têxtil de folha fibra de vidro.

Relativamente ao primeiro trabalho experimental realizado, inicialmente cada produto de MDF foi dividido em três séries com procedimentos experimentais diferentes. A primeira série de cada tipo foi condicionada em atmosfera controlada antes da realização do ensaio e depois da colagem dos provetes no suporte metálico, a estabilização da temperatura ocorreu em banho de arrefecimento. A segunda série de cada tipo não sofreu condicionamento prévio e a sua estabilização foi também realizada em banho. Por último, a terceira série de provetes também não sofreu condicionamento e depois da colagem do conjunto suporte metálico-provete foi realizado um arrefecimento abrupto.

Sendo que o ensaio decorreu de igual forma para todas as séries, foi possível verificar que o comportamento dos tipos de MDF com espessuras superiores era diferente do comportamento dos provetes de MDF com espessuras inferiores. Relativamente ao ensaio da segunda série, em todos os tipos de MDF, obtém resultados intermédios e idênticos aos da primeira série testada.

Relativamente aos tipos de MDF com espessuras superiores, A e B, com espessuras de 18 e 15 mm verifica-se que os valores de resistência interna são superiores quando o arrefecimento do conjunto suporte metálico-provete é realizado de forma abrupta, sendo que o ensaio da primeira série obtém os valores mais baixos de resistência à tração.

Uma das explicações deste fenómeno reside na humidade do provete de MDF. Quando este é sujeito a um arrefecimento abrupto a humidade do provete baixa abruptamente e consolida o provete de MDF, o que leva a valores mais elevados de resistência interna. Quando os provetes são condicionados a humidade do provete mantem-se e aumenta as pontes de hidrogénio existentes, o que faz com que não seja necessária tanta força para rebentar o provete. Esta explicação é ainda sustentada pela forma com os provetes da primeira e segunda série se comportam. Nestas duas séries a única diferença reside no facto da primeira série os provetes serem previamente condicionados, o que faz com que estes possuam um teor de humidade superior e por isso valores de tração inferiores, sendo que, de qualquer das formas, a diferença não é muito significativa comparativamente com os valores obtidos para a terceira série.

Durante o processo de arrefecimento abrupto, as propriedades da cola e do provete são alteradas, no caso do provete, a humidade referida anteriormente e, no caso da cola

termofusível, a sua temperatura de transição vítrea é alterada e a cola passa de viscoelástica a rendilhada, o que altera os resultados de resistência interna.

Para o tipo de produto de espessuras inferiores, os resultados invertem-se em relação aos produtos referidos anteriormente. Ou seja, para a espessura de 6 mm do tipo de produto B, os valores de tração são mais elevados para os provetes condicionados e mais baixos para os provetes com arrefecimento abrupto. Este fenómeno pode ser explicado pelo facto de este tipo de produto de espessuras mais baixas, sendo que há aumento da taxa de conversão de resina, possui uma densidade maior e por isso a sua composição é mais homogénea.

No segundo trabalho experimental foram produzidas, ao nível laboratorial placas de MDF revestidas com folha fibra de vidro em cada uma das faces da placa. Para posterior comparação de resultados, foram produzidas placas convencionalmente (sem folha fibra de vidro), com folha de vidro e com folha fibra de vidro impregnada previamente com resina ureia-formaldeído (UF) em 50 e 100% (m/m). Depois de prensadas e estabilizadas, as placas foram sujeitas a vários ensaios de forma a determinar as suas propriedades físico-mecânicas, nomeadamente: determinação da massa volúmica; determinação do teor de humidade; inchamento em espessura após imersão em água; módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão; determinação da absorção superficial e determinação do perfil de densidade.

Relativamente ao ensaio de determinação da massa volúmica, verifica-se um aumento da densidade das placas produzidas, sendo que as placas que obtiveram densidades mais baixas foram as placas produzidas sem fibra de vidro e as placas com valores mais elevados de densidade são as placas com fibra de vidro com resina UF em 50%. Visto que a espécie da madeira é a mesma para todas as placas, o fator de densidade da madeira não é considerado, podendo verificar que nas placas com resina UF a 50% na fibra de vidro, ocorre uma maior compactação entre as partículas e o adesivo. A placa com folha de vidro com resina a 50% (m/m) também obteve melhores valores para o ensaio de absorção superficial.

Para os ensaios de determinação do teor de humidade e de inchamento, os resultados revelam que o revestimento a fibra de madeira melhora as propriedades da placa, obtendo valores superiores para as placas com fibra de vidro com impregnação de 100% (m/m) e as placas com folha fibra de vidro sem resina UF para os respetivos ensaios.

O módulo de elasticidade em flexão e a resistência à flexão também revelam melhores valores para as placas com fibra de vidro acoplada, não sendo estes resultados muito relevantes visto que a fibra de vidro utilizada é demasiado fina para o tipo de ensaio realizado.

Em conclusão, é possível verificar que a placa que possui melhores propriedades é a placa de MDF com folha de vidro e impregnação de resina UF em 50% (m/m), sendo que as placas produzidas convencionalmente são as que revelam propriedades inferiores em todas as propriedades testadas.

Bibliografia

- [1] "Sonae Arauco," 2017.
- [2] A. Noronha, "Sonae Indústria conclui parceria com a Arauco," *Jornal de negócios*, 2016. [Online]. Available: http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/industria/detalhe/sonae_industria_conclui_parceria_com_a_arauco. [Accessed: 25-Aug-2017].
- [3] "Sonae Arauco," *Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto*, 2017. [Online]. Available: <http://uptec.up.pt/empresa/sonae-arauco>. [Accessed: 25-Aug-2017].
- [4] C. I. Campos and F. A. R. Lahr, "Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído," *Revista Matéria*, vol. 9, no. 1, pp. 32–42, 2004.
- [5] Forest Products Laboratory - USDA, "Wood Handbook: Wood as an Engineering Material," *USDA - Gen. Tech. Rep.*, vol. General Te, p. 508, 2010.
- [6] G. Wegener and E. Windeisen, "Chemically-Based Modern Wood Composites," in *Lignocellulosic Fibers and Wood Handbook*, 2016, pp. 305–311.
- [7] A. Pizzi, "Wood and Fiber Panels Technology," in *Lignocellulosic Fibers and Wood Handbook*, 2016, pp. 385–403.
- [8] "NP EN 316:2012 (Ed. 2). Aglomerado de fibras de madeira. Definição, classificação e símbolos." .
- [9] L. M. Mendes, S. Iwakiri, J. Luis, M. De Matos, and S. Keinert, "Avaliação do sistema de orientação de partículas na produção de painéis OSB (Oriented Strand Board)," *CERNE*, vol. 6, pp. 1–8, 2000.
- [10] P. Reis, "Optimização do Processo de Secagem e Transporte de Fibra," 2008.
- [11] C. I. Campos and F. A. R. Lahr, "MDF – Processo de produção, propriedades e aplicações," no. 1995, pp. 2054–2059, 2000.
- [12] F. Silva, "Caracterização de Resinas de Ureia-Formaldeído," 2008.
- [13] G. Oporto, W. Tze, and D. Gardner, "Wood and Fiber-Based Composites: Surface Properties and Adhesion," in *Lignocellulosic Fibers and Wood Handbook*, 2016, pp. 345–383.
- [14] W. Liang, M. Lv, and X. Yang, "The effect of humidity on formaldehyde emission parameters of a medium-density fiberboard: Experimental observations and correlations," *Build. Environ.*, vol. 101, pp. 110–115, 2016.
- [15] S. Iwakiri, "Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas," *Sci. For.*, vol. 68, no. 1993, pp. 39–43, 2005.
- [16] F. C. Pierre, "Caraterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros," 2010.
- [17] T. M. Maloney, *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing*. San Francisco : Miller Freeman, 1993.
- [18] J. R. Eleotério, "Propriedades físicas e mecânicas de painéis mdf de diferentes densidades e teores de resina," 2000.
- [19] J. Lopes, "Implementação da metodologia DMAIC numa linha de produção de MDF," 2014.
- [20] P. C. de O. R. Almeida, "Estudo da influência da temperatura e do tempo de prensagem

- nas características físico mecânicas , de diferentes tipos de MDF aquando do seu revestimento por prensagem,” 2006.
- [21] “NP EN 319:2002 (Ed. 1) Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira. Determinação da resistência à tracção perpendicular às faces da placa.” .
- [22] M. T. Filho and U. L. Belini, “Avaliação tecnológica de painéis de MDF de madeira de *Eucalyptus grandis* confeccionados em laboratório e em linha de produção industrial,” *Ciência Florestal, St. Maria*, vol. 20, no. 3, pp. 493–500, 2010.
- [23] “NP EN 310:2002 (Ed. 1).Placas de derivados de madeira. Determinação do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão.” .
- [24] “NP EN 317:2002 (Ed. 1) Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira. Determinação do inchamento em espessura após imersão em água.” .
- [25] M. T. Filho, U. L. Belini, J. T. Oliveira, and F. G. Gonçalves, “Avaliação tecnológica da madeira e de painéis MDF de eucalipto por densitometria de raios X,” *Madeira Arquitetura&Engenharia*, pp. 45–58.
- [26] “NP EN 322:2002 (Ed. 1).Placas de derivados de madeira. Determinação do teor de água.” .
- [27] “NP EN 323:2002 (Ed. 1).Placas de derivados de madeira. Determinação da massa volúmica.” .
- [28] A. M. M. Mendes, “Laboratórios de Engenharia Química,” *Feup Edições, Porto*, vol. capítulo 2, 2002.
- [29] F. Avelino, “TD : Tratamento de Dados,” 2016.

Anexos

Anexo A

A produção das novas placas de MDF foi realizada a nível laboratorial sendo que a fibra foi recolhida da linha de produção industrial e só depois a formação do colchão e prensagem foi realizada na Universidade de Aveiro, como apresentado nas Figuras A.1 e A.2. A Figura A.1 apresenta o processo ao nível industrial e a Figura A.2 representa o processo realizado para obtenção das novas placas de MDF.

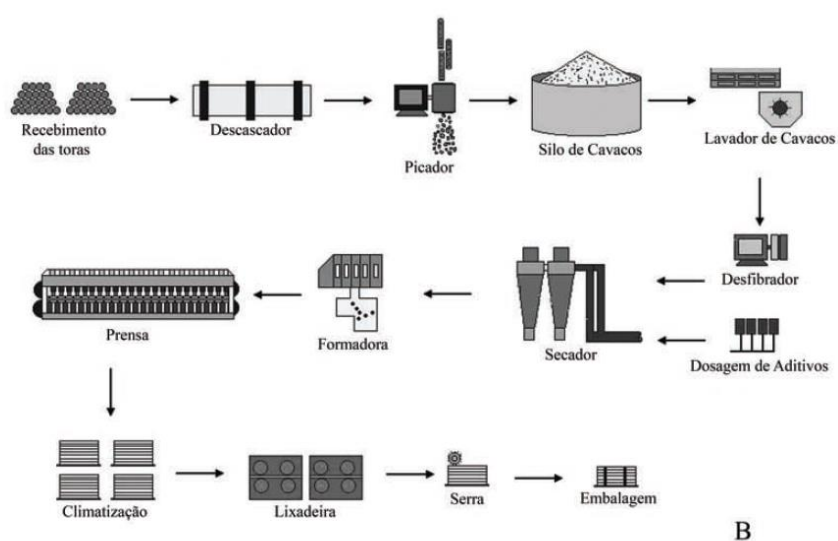


Figura A. 1 - Esquema do processo de produção ao nível industrial [22].

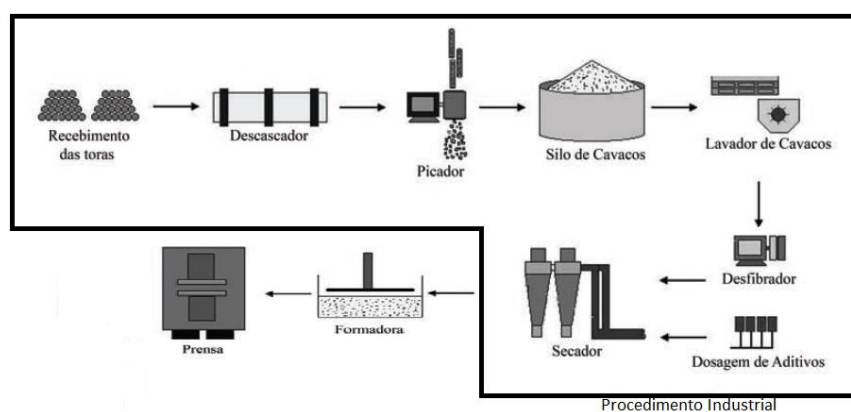


Figura A. 2 - Esquema do processo produtivo das placas de MDF desenvolvidas em laboratório. Modificado de [22].

Depois de recolhida a fibra da linha de produção industrial a fibra foi pesada, segundo a Equação A.1.

$$m_{fibraseca} = V \times \rho = (20 \times 20 \times 0,6) \times 0,850 = 204 \text{ g de fibra seca} \quad (\text{A.1})$$

Onde V é o volume da placa a produzir, com as dimensões em cm e ρ a densidade da placa em g/cm^3 .

Sendo que o valor calculado pela Equação A.1 define a massa de fibra seca, a Equação A.2 define a massa a pesar de fibra, considerando uma humidade de 8%.

$$m_{fibraa\text{ pesar}} = \frac{204}{(1 - 0,8)} = \frac{204}{0,92} = 225 \text{ g de fibra a pesar} \quad (\text{A.2})$$

No final da pesagem, procedeu-se à formação do colchão de fibras com o auxílio da formadora como demonstrado na Figura A.3.



Figura A. 3 - Formação do colchão de fibra com o auxílio da formadora.

É necessário ter em conta que as placas em que foi adicionada a folha de vidro, esta foi adicionada no processo de formação do colchão antes da prensagem, como demonstrado na Figura A.4.



Figura A. 4- Adição da folha fibra de vidro, no processo de formação do colchão.

As Figuras A.5 e A.6 representam a placa de MDF produzida após o corte. A Figura A.5 representa as amostras utilizadas para os ensaios físico-mecânicos e a Figura A.6. representa as amostras, que foram posteriormente guardadas.



Figura A. 5 - Amostras de MDF para demonstração.

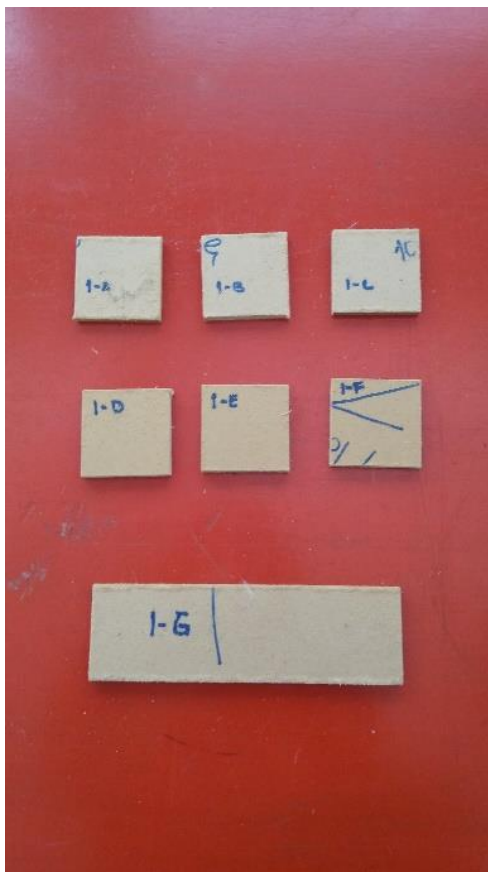


Figura A. 6 - Amostras utilizadas para os ensaios físico-mecânicos.

Anexo B

As Tabelas B.1, B.2 e B.3 representam os resultados detalhados do ensaio de tração perpendicular às faces da placa, dos três tipos de produtos testado A, B e C, respectivamente.

Tabela B. 1 - Valores de carga e tração para todos os provetes, incluindo data e hora de realização, do produto A.

Tipo de MDF A															
Proвете	Hora	Data	Série I			Série II			Série III						
			Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)	Hora	Data	Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)	Hora	Data	Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)
1	16:10:22	19-04-2017	2500	2132,8149	0,8531	12:28:43	21-04-2017	2500	1740,8828	0,6964	15:14:56	27-04-2017	2500	2403,9299	0,9616
2	16:22:42	19-04-2017	2500	2072,1122	0,8288	12:29:57	21-04-2017	2500	2059,0130	0,8236	15:16:51	27-04-2017	2500	2257,9818	0,9032
3	16:24:51	19-04-2017	2500	1829,2354	0,7317	12:31:04	21-04-2017	2500	2034,9239	0,8140	15:20:00	27-04-2017	2500	2478,7877	0,9915
4	16:26:11	19-04-2017	2500	2001,4073	0,8006	12:32:23	21-04-2017	2500	2055,4100	0,8222	15:21:39	27-04-2017	2500	2223,2205	0,8893
5	16:13:02	19-04-2017	2500	1963,3303	0,7853	12:33:47	21-04-2017	2500	2110,7355	0,8443	15:23:09	27-04-2017	2500	2441,6570	0,9767
6	16:14:51	19-04-2017	2500	2016,7330	0,8067	12:37:07	21-04-2017	2500	2164,2687	0,8657	15:25:10	27-04-2017	2500	2062,9680	0,8252
7	16:28:00	19-04-2017	2500	2039,7020	0,8159	12:39:01	21-04-2017	2500	2124,0896	0,8496	15:26:47	27-04-2017	2500	2440,8597	0,9763
8	16:29:53	19-04-2017	2500	1924,9077	0,7700	12:40:19	21-04-2017	2500	2052,4033	0,8210	15:28:26	27-04-2017	2500	2308,4352	0,9234
9	16:31:05	19-04-2017	2500	1941,4853	0,7766	12:41:52	21-04-2017	2500	2047,1809	0,8189	15:31:03	27-04-2017	2500	2157,8584	0,8631
10	16:16:35	19-04-2017	2500	2118,0448	0,8472	12:43:50	21-04-2017	2500	2154,1076	0,8616	15:35:18	27-04-2017	2500	2031,3151	0,8125
11	11:10:37	20-04-2017	2500	1782,2304	0,7129	16:08:56	26-04-2017	2500	1742,8920	0,6972	10:21:34	28-04-2017	2500	2223,3437	0,8893
12	11:14:42	20-04-2017	2500	2006,0024	0,8024	16:11:06	26-04-2017	2500	1973,6082	0,7894	10:23:07	28-04-2017	2500	2140,1680	0,8561
13	11:16:51	20-04-2017	2500	1954,2502	0,7817	16:12:38	26-04-2017	2500	1882,2042	0,7529	10:24:17	28-04-2017	2500	2050,9118	0,8204
14	11:18:19	20-04-2017	2500	1872,4563	0,7490	16:13:58	26-04-2017	2500	1770,8157	0,7083	10:25:07	28-04-2017	2500	2171,1463	0,8685
15	11:19:48	20-04-2017	2500	2101,5606	0,8406	16:20:58	26-04-2017	2500	1998,3340	0,7993	10:26:22	28-04-2017	2500	2028,3208	0,8113
16	11:21:27	20-04-2017	2500	1892,5160	0,7570	16:24:10	26-04-2017	2500	2083,5128	0,8334	10:27:27	28-04-2017	2500	2111,6964	0,8447
17	11:24:17	20-04-2017	2500	2148,4518	0,8594	16:26:20	26-04-2017	2500	2222,0516	0,8888	10:28:32	28-04-2017	2500	2025,3410	0,8101
18	11:25:50	20-04-2017	2500	1880,7099	0,7523	16:28:04	26-04-2017	2500	2135,4649	0,8542	10:29:24	28-04-2017	2500	2197,4248	0,8790
19	11:27:18	20-04-2017	2500	2065,9561	0,8264	16:30:23	26-04-2017	2500	2111,7192	0,8447	10:30:21	28-04-2017	2500	2269,1411	0,9077
20	11:28:54	20-04-2017	2500	1967,2645	0,7869	16:31:50	26-04-2017	2500	2122,3896	0,8490	10:31:48	28-04-2017	2500	2312,7528	0,9251
21	16:02:03	20-04-2017	2500	2051,9673	0,8208	16:53:52	26-04-2017	2500	2028,2523	0,8113	16:09:36	28-04-2017	2500	2457,6113	0,9830
22	16:03:36	20-04-2017	2500	2104,7871	0,8419	16:55:11	26-04-2017	2500	2329,9951	0,9320	16:12:06	28-04-2017	2500	2523,7302	1,0095
23	16:05:28	20-04-2017	2500	2119,4170	0,8478	16:56:45	26-04-2017	2500	2164,0549	0,8656	16:14:04	28-04-2017	2500	2601,1298	1,0405
24	16:07:59	20-04-2017	2500	2101,5766	0,8406	16:58:42	26-04-2017	2500	2253,0355	0,9012	16:16:10	28-04-2017	2500	2429,4733	0,9718
25	16:15:07	20-04-2017	2500	2169,7052	0,8679	17:00:54	26-04-2017	2500	2056,3533	0,8225	16:19:59	28-04-2017	2500	2385,3311	0,9541
26	16:17:42	20-04-2017	2500	2104,0680	0,8416	17:02:23	26-04-2017	2500	2168,4976	0,8674	16:24:39	28-04-2017	2500	2256,5558	0,9026
27	16:19:10	20-04-2017	2500	2212,2522	0,8849	17:03:37	26-04-2017	2500	2140,2707	0,8561	16:27:35	28-04-2017	2500	2460,0184	0,9840
28	16:22:25	20-04-2017	2500	2201,7025	0,8807	17:05:33	26-04-2017	2500	2179,1200	0,8716	16:29:28	28-04-2017	2500	2437,0669	0,9748
29	16:24:03	20-04-2017	2500	2152,8463	0,8611	17:07:14	26-04-2017	2500	2095,2018	0,8381	16:31:03	28-04-2017	2500	2208,4831	0,8834
30	16:25:51	20-04-2017	2500	2094,1019	0,8376	17:10:26	26-04-2017	2500	2186,3754	0,8746	16:33:49	28-04-2017	2500	2197,8036	0,8791

Tabela B. 2 - Valores de carga e tração para todos os provetes, incluindo data e hora de realização, do produto B.

Tipo de MDF B															
Provete	Série I			Série II						Série III					
	Hora	Data	Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)	Hora	Data	Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)	Hora	Data	Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)
1	15:52:39	09-06-2017	2500	4202,0921	1,6808	12:29:37	16-06-2017	2500	4498,7945	1,7995	12:26:48	20-06-2017	2500	3993,59446	1,597437785
2	15:56:25	09-06-2017	2500	4495,4915	1,7982	12:31:50	16-06-2017	2500	3808,6900	1,5235	12:29:37	20-06-2017	2500	4257,11555	1,702846218
3	15:58:43	09-06-2017	2500	4289,3153	1,7157	12:33:47	16-06-2017	2500	4384,6719	1,7539	12:31:19	20-06-2017	2500	3842,43395	1,53697358
4	16:01:21	09-06-2017	2500	4428,9606	1,7716	12:35:58	16-06-2017	2500	4116,5442	1,6466	12:33:09	20-06-2017	2500	3910,32991	1,564131962
5	16:03:39	09-06-2017	2500	4112,7924	1,6451	12:38:47	16-06-2017	2500	4327,8423	1,7311	12:34:49	20-06-2017	2500	4056,26168	1,622504671
6	16:05:12	09-06-2017	2500	4184,4445	1,6738	12:42:21	16-06-2017	2500	4216,3103	1,6865	12:36:49	20-06-2017	2500	4412,78446	1,765113784
7	16:10:06	09-06-2017	2500	4348,5513	1,7394	12:44:07	16-06-2017	2500	4226,1744	1,6905	12:39:33	20-06-2017	2500	4455,75083	1,782300332
8	16:14:49	09-06-2017	2500	4801,3664	1,9205	12:46:13	16-06-2017	2500	4636,8105	1,8547	12:42:04	20-06-2017	2500	4524,05597	1,809622387
9	16:16:58	09-06-2017	2500	4465,4866	1,7862	12:49:19	16-06-2017	2500	4533,1319	1,8133	12:44:24	20-06-2017	2500	4112,22548	1,64489019
10	16:19:40	09-06-2017	2500	4116,3437	1,6465	12:51:05	16-06-2017	2500	4511,2942	1,8045	12:46:21	20-06-2017	2500	3941,14129	1,576456516

Tabela B. 3 - Valores de carga e tração para todos os provetes, incluindo data e hora de realização, do produto C.

Tipo de MDF C															
Provete	Série I			Série II						Série III					
	Hora	Data	Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)	Hora	Data	Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)	Hora	Data	Área (mm ²)	Carga (N)	Tração (N/mm ²)
1	16:52:16	08-06-2017	2500	2621,5000	1,0500	16:25:16	19-06-2017	2500	2756,7666	1,1027	17:00:01	20-06-2017	2500	3059,33826	1,223735305
2	16:54:57	08-06-2017	2500	2781,8383	1,1127	16:27:03	19-06-2017	2500	2886,9798	1,1548	17:01:50	20-06-2017	2500	3172,86088	1,269144351
3	16:56:13	08-06-2017	2500	2867,4375	1,1470	16:28:08	19-06-2017	2500	2737,2163	1,0949	17:03:13	20-06-2017	2500	3024,03739	1,209614954
4	16:57:30	08-06-2017	2500	2798,6534	1,1195	16:30:22	19-06-2017	2500	2723,9081	1,0896	17:05:20	20-06-2017	2500	3164,33489	1,265733956
5	16:58:45	08-06-2017	2500	2657,9492	1,0632	16:31:33	19-06-2017	2500	2781,6633	1,1127	17:06:42	20-06-2017	2500	2854,96772	1,141987089
6	17:00:11	08-06-2017	2500	2720,8511	1,0883	16:32:58	19-06-2017	2500	2758,6674	1,1035	17:08:38	20-06-2017	2500	3144,30572	1,257722286
7	17:01:48	08-06-2017	2500	2845,0296	1,1380	16:34:22	19-06-2017	2500	2883,4466	1,1534	17:11:14	20-06-2017	2500	3099,56274	1,239825094
8	17:03:12	08-06-2017	2500	2557,0688	1,0228	16:35:27	19-06-2017	2500	2907,6984	1,1631	17:13:37	20-06-2017	2500	3077,93436	1,231173742
9	17:04:47	08-06-2017	2500	2487,9385	0,9952	16:37:24	19-06-2017	2500	2650,8376	1,0603	17:15:37	20-06-2017	2500	3027,04147	1,21081659
10	17:06:25	08-06-2017	2500	2834,8062	1,1339	16:38:34	19-06-2017	2500	2950,3794	1,1802	17:17:40	20-06-2017	2500	2910,17007	1,164068029

Anexo C

O código do Matlab utilizado para tratamento de dados dos valores obtidos do ensaio de tração perpendicular às faces da placa de MDF está presente abaixo, depois de realizada a transferência de valores do excel para o Matlab.

```
[dados_1,titulos_1] = xlsread('DadosTraccas','A');
[dados_2,titulos_2] = xlsread('DadosTraccas','B');
[dados_3,titulos_3] = xlsread('DadosTraccas','C');

todos = {{titulos_1,dados_1}, ...
         {titulos_2,dados_2}, ...
         {titulos_3,dados_3}, ...
        };
%% todos{i}{j}{k}  i -> caso 1 .. 4
%                  j -> 1, 2 : 1 textos 2 dados numericos
%                  k -> se j = 1, {1 ..} da textos
%                  se j = 2, temos que por 2 coordeandas pois
aponta a matriz

[caso1,pontos1]=sacar_valores('A',1,todos);
[caso2,pontos2]=sacar_valores('A',2,todos);
[caso3,pontos3]=sacar_valores('A',3,todos);

[caso4,pontos4]=sacar_valores('B',1,todos);
[caso5,pontos5]=sacar_valores('B',2,todos);
[caso6,pontos6]=sacar_valores('B',3,todos);

[caso7,pontos7]=sacar_valores('C',1,todos);
[caso8,pontos8]=sacar_valores('C',2,todos);
[caso9,pontos9]=sacar_valores('C',3,todos);

estatisticas={};
figure(1)
subplot(221)
hold on %media,s,minimo,maximo
plot(pontos1,'DisplayName','Serie I');
estatisticas{1}=valores_estadisticos(pontos1);
plot(pontos2,'DisplayName','Serie II');
estatisticas{2}=valores_estadisticos(pontos2);
plot(pontos3,'DisplayName','Serie III');
estatisticas{3}=valores_estadisticos(pontos3);

%legenda
legend('show','Location','best');

% eixos
xlabel('Proveito');
ylabel('Tração, N \cdot m^{-2}');

hold off

subplot(222)
```

```

hold on
    plot(pontos4, 'DisplayName', 'Serie I');
estatisticas{4}=valores_estadisticos(pontos4);
    plot(pontos5, 'DisplayName', 'Serie II');
estatisticas{5}=valores_estadisticos(pontos5);
    plot(pontos6, 'DisplayName', 'Serie III');
estatisticas{6}=valores_estadisticos(pontos6);

%legenda
legend('show', 'Location', 'best');

% eixos
xlabel('Proвете');
ylabel('Tracção, N \cdot m^{-2}');

hold off

subplot(223)
hold on
    plot(pontos7, 'DisplayName', 'Serie I');
estatisticas{7}=valores_estadisticos(pontos7);
    plot(pontos8, 'DisplayName', 'Serie II');
estatisticas{8}=valores_estadisticos(pontos8);
    plot(pontos9, 'DisplayName', 'Serie III');
estatisticas{9}=valores_estadisticos(pontos9);

%legenda
legend('show', 'Location', 'best');

% eixos
xlabel('Proвете');
ylabel('Tracção, N \cdot m^{-2}');

hold off

```

O código para obtenção dos dados estatísticos está presente abaixo:

```

function estatistica = valores_estadisticos(dados)
    media = mean(dados);
    s = std(dados);
    maximo = max(dados);
    minimo = min(dados);

    Intervalo_de_confianca = 95;
    alpha = (1 - Intervalo_de_confianca/100)/2;
    Intervalo_mais_alpha = Intervalo_de_confianca/100 + alpha;
    ndados = length(dados);
    graus_de_liberdade = ndados-1;
    t_alpha = tinv(Intervalo_mais_alpha, graus_de_liberdade);

    sx = s*t_alpha/sqrt(ndados);

    estatistica = [media, s, maximo, minimo, t_alpha, sx];
end

```

Anexo D

As Tabelas D.1 e D.2 apresentam os valores detalhados de todos os ensaios realizados às placas de MDF produzidas laboratorialmente.

Tabela D. 1 - Valores de todos os ensaios realizados às placas 1 e 2 produzidas laboratorialmente.

Placa	Provetes	Distribuição Densidade					Inchamento 24h			Humidade			Flexão			Abs. Superficial		
		Comp	Larg	Esp	Peso	Dens	Esp Inicial	Esp Final	Inch%	Esp Inicial	Esp Final	Hum%	Esp	Largura	Mod. Elasticidade	Res. Flexão	Comp Lado Frente (mm)	Comp Lado Atras (mm)
1	A	50,66	50,76	5,91	10,87	715,20	6,00	10,39	73,17									
	B	50,72	50,67	6,00	11,61	752,90												
	C	50,83	50,73	5,99	11,58	749,70				11,58	11,05	4,80						
	D	50,78	50,68	6,14	11,38	720,10				11,38	10,85	4,88						
	E	50,76	50,76	6,25	12,18	756,30												
	F	50,80	50,65	6,28	12,50	773,50	6,34	10,26	61,83									
	G												6,32	50,51	2042,82	23,67	44	55
Média		50,77	50,71	6,07	11,60	751,30			67,50		4,84			2042,82	23,67		44,00	
2	A	50,76	50,71	5,73	11,07	750,50	5,81	10,05	72,98									
	B	50,45	50,69	5,93	11,70	771,50												
	C	50,89	50,79	5,84	11,90	788,30				11,90	11,34	4,94						
	D	50,38	50,74	5,81	12,14	817,30				12,14	11,59	4,75						
	E	50,79	50,80	6,01	13,06	842,20												
	F	50,86	50,40	5,92	13,18	868,50	5,96	9,72	63,09									
	G												5,97	50,90	2950,05	34,25	69	85
Média		50,78	50,73	5,88	12,02	802,80			68,03		4,84			2950,05	34,25		69,00	

Tabela D. 2 - Valores de todos os ensaios realizados às placas 3 a 7 produzidas laboratorialmente.

Placa	Provetes	Distribuição Densidade				Inchamento 24h				Humidade				Flexão		Abs. Superficial		
		Comp	Larg	Esp	Peso	Dens	Comp	Larg	Esp	Peso	Dens	Comp	Larg	Esp				
3	A	50,68	50,77	6,10	11,59	738,40	6,25	10,30	64,80									
	B	50,75	50,77	6,24	12,25	761,90												
	C	50,79	50,76	6,25	12,11	751,50				12,11	11,56	4,76						
	D	50,74	50,74	6,36	12,33	753,00				12,33	11,74	5,03						
	E	50,87	50,68	6,53	13,32	791,20												
	F	50,50	50,85	6,55	13,69	813,90	6,69	10,12	51,27									
	G													6,55	50,84	2175,13	27,13	51
Média		50,75	50,77	6,31	12,29	757,45									2175,13	27,13		51,00
4	A	50,69	50,74	5,79	12,03	807,80	5,89	9,98	69,44									
	B	50,70	50,66	5,85	12,05	801,90												
	C	50,86	50,69	5,82	11,55	769,70				11,55	10,97	5,29						
	D	50,71	50,66	6,02	12,41	802,40				12,41	11,83	4,90						
	E	50,73	50,72	6,06	12,87	825,30												
	F	50,80	50,88	6,05	12,88	823,60	6,13	9,95	62,32									
	G													6,04	50,85	2358,07	31,49	54
Média		50,72	50,71	5,94	12,23	805,10									2358,07	31,49		48,00
5	A	50,75	50,59	6,11	12,26	781,50	6,23	10,85	74,16									
	B	50,72	50,74	6,17	12,47	785,30												
	C	50,82	50,75	6,09	12,59	801,50				12,59	12,02	4,74						
	D	50,70	50,61	6,35	12,63	775,10				12,63	12,09	4,47						
	E	50,77	50,56	6,46	12,96	781,50												
	F	50,81	50,94	6,43	13,11	787,70	6,48	10,27	58,49									
	G													6,49	50,87	2189,30	23,53	71
Média		50,76	50,68	6,26	12,61	783,40									2189,30	23,53		55,00
6	A	50,72	50,73	5,71	11,84	805,80	5,76	9,64	67,36									
	B	50,73	50,68	5,84	12,19	811,80												
	C	50,66	50,92	5,83	12,34	820,50				12,34	11,77	4,84						
	D	50,77	50,70	5,79	12,36	829,30				12,36	11,81	4,66						
	E	50,88	50,72	5,98	12,85	832,60												
	F	50,46	50,90	6,00	13,00	843,50	6,08	9,56	57,24									
	G													5,99	50,82	2730,87	29,22	65
Média		50,73	50,73	5,84	12,35	824,90									2730,87	29,22		64,00
7	A	50,79	50,72	5,82	12,01	801,00	5,93	9,87	66,44									
	B	50,85	50,77	5,92	11,83	774,00												
	C	50,82	50,83	5,92	11,43	746,70				11,43	10,92	4,67						
	D	50,90	50,70	6,12	12,99	822,40				12,99	12,40	4,76						
	E	50,86	50,77	6,18	12,70	795,80												
	F	50,82	50,86	6,15	12,28	772,50	6,23	10,34	65,97									
	G													6,18	50,52	2963,38	26,92	71
Média		50,84	50,77	6,02	12,15	784,90									2963,38	26,92		71,00

Anexo E

As Figuras E.1 a E.7, representam os perfis de densidade dos provetes A a F, respetivamente, obtidos para a Placa 1.

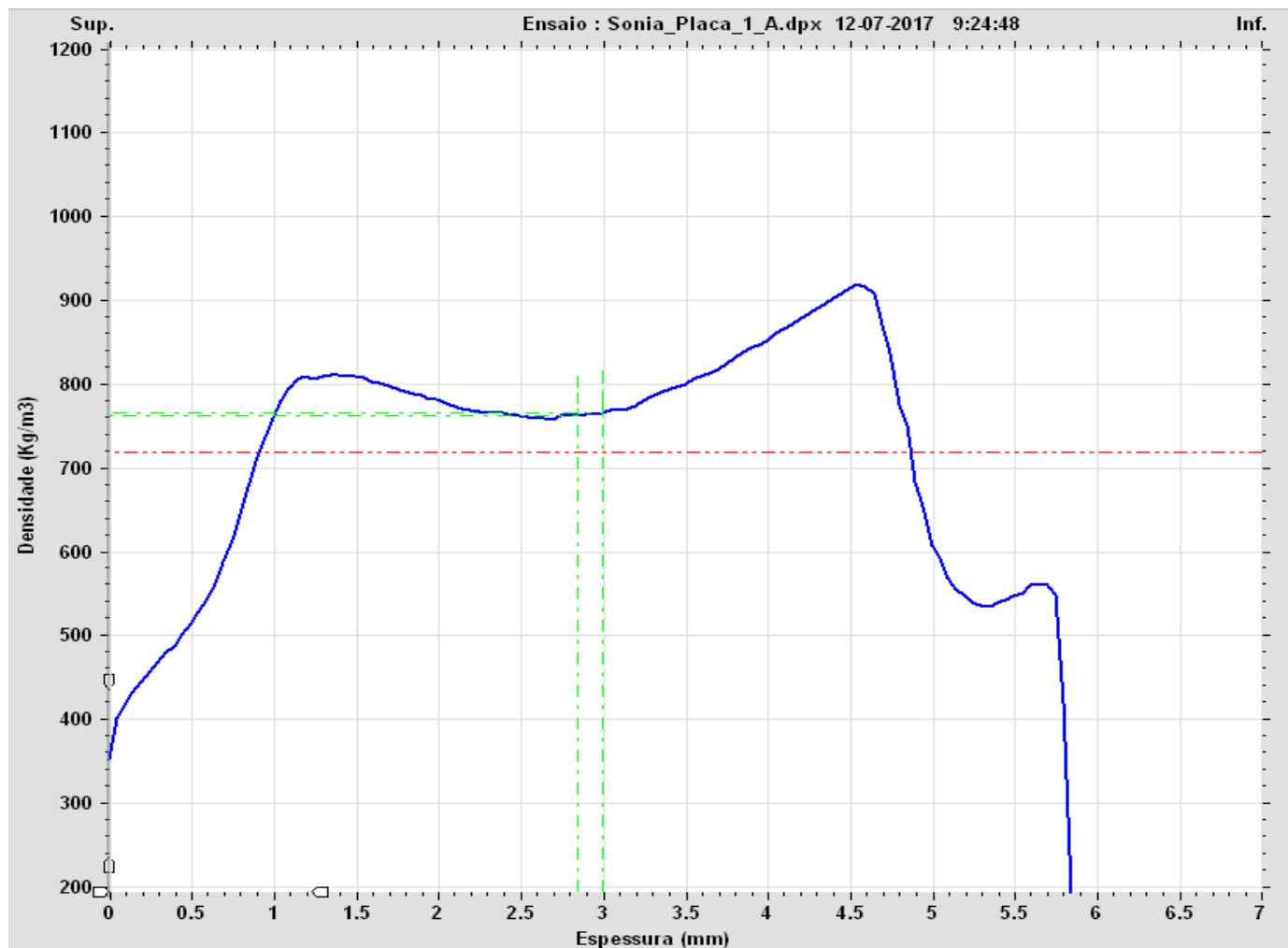


Figura E. 1 - Perfil de densidade do provete A, da placa 1.

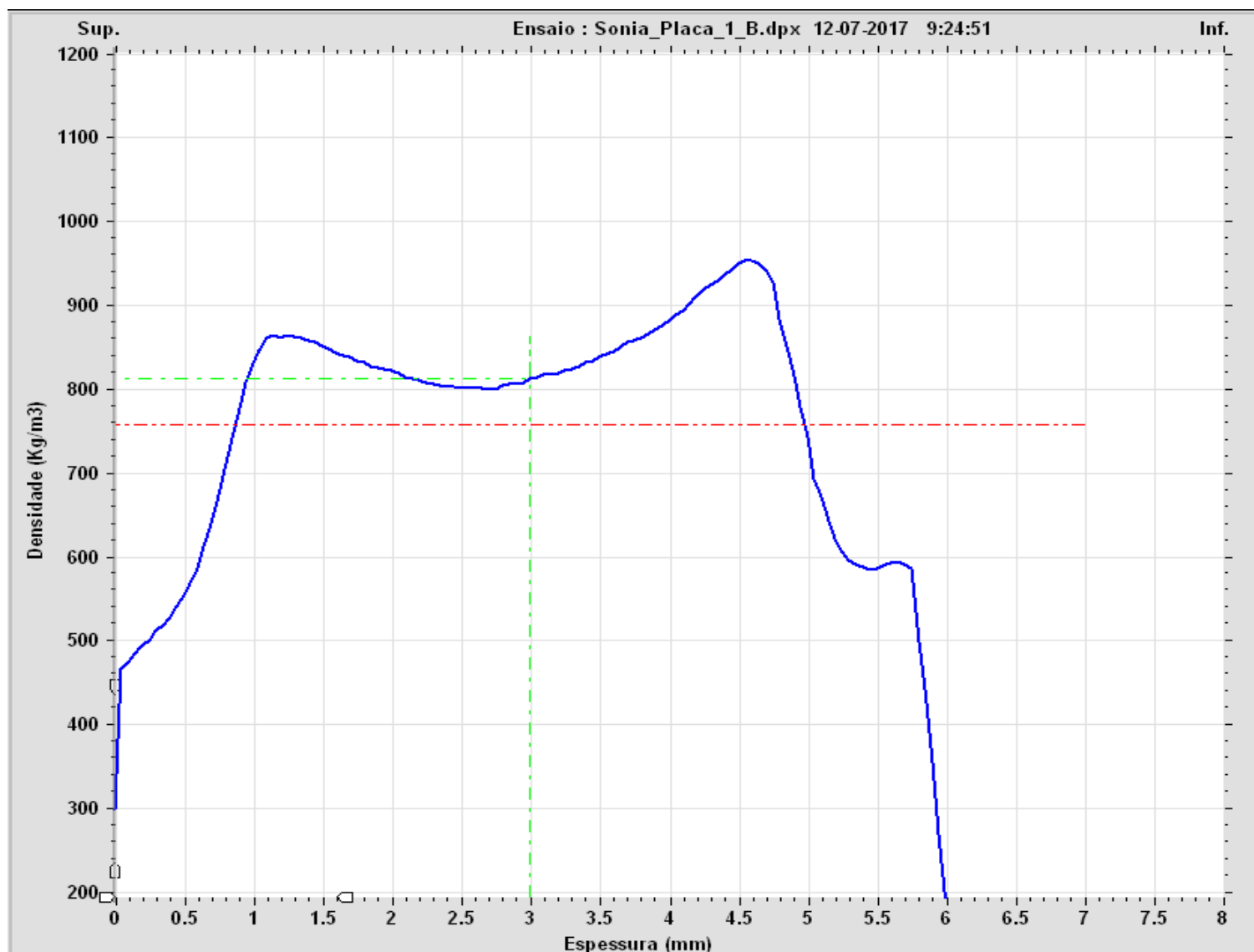


Figura E. 2 - Perfil de densidade do provete B, da placa 1.

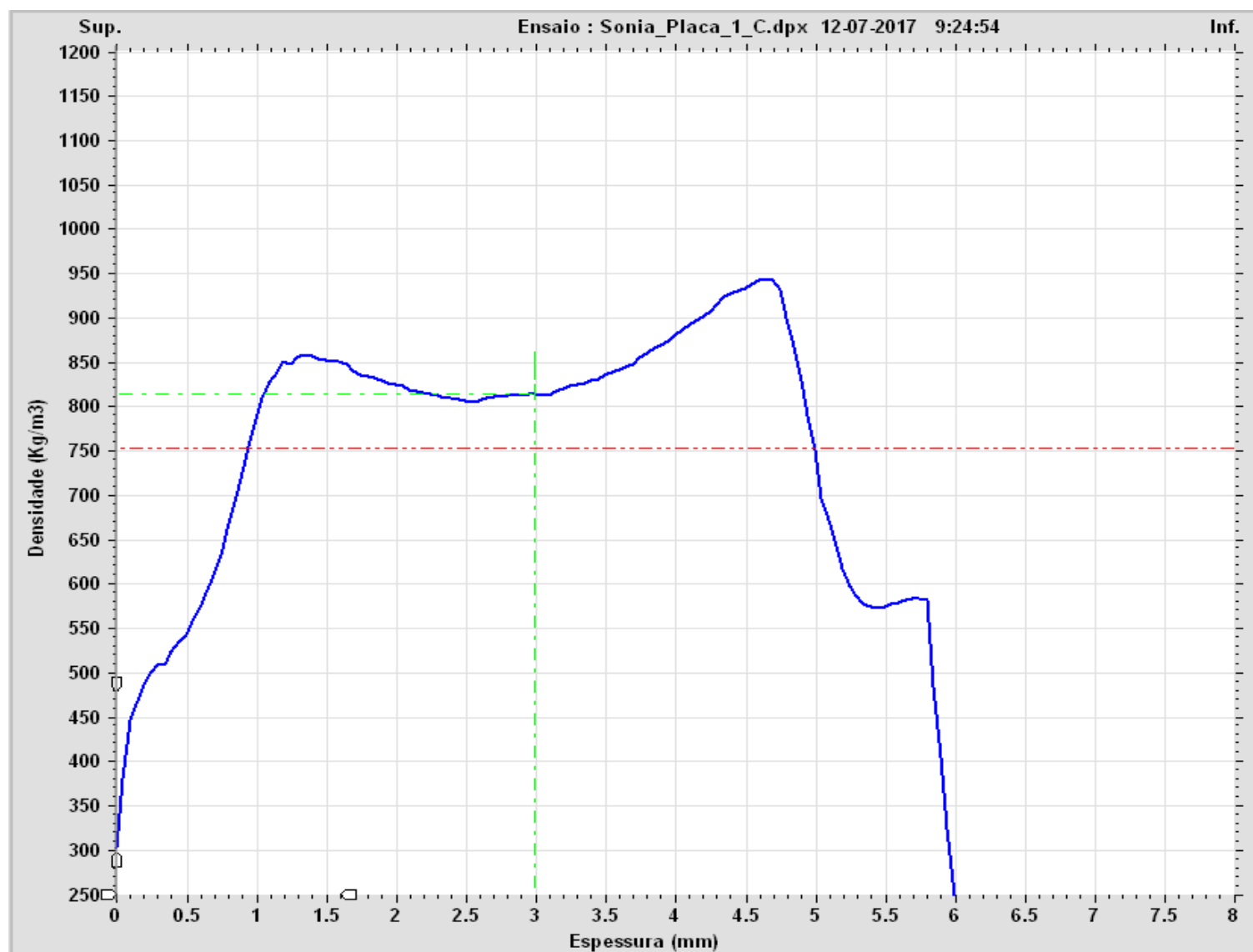


Figura E. 3 - Perfil de densidade do provete C, da placa 1.

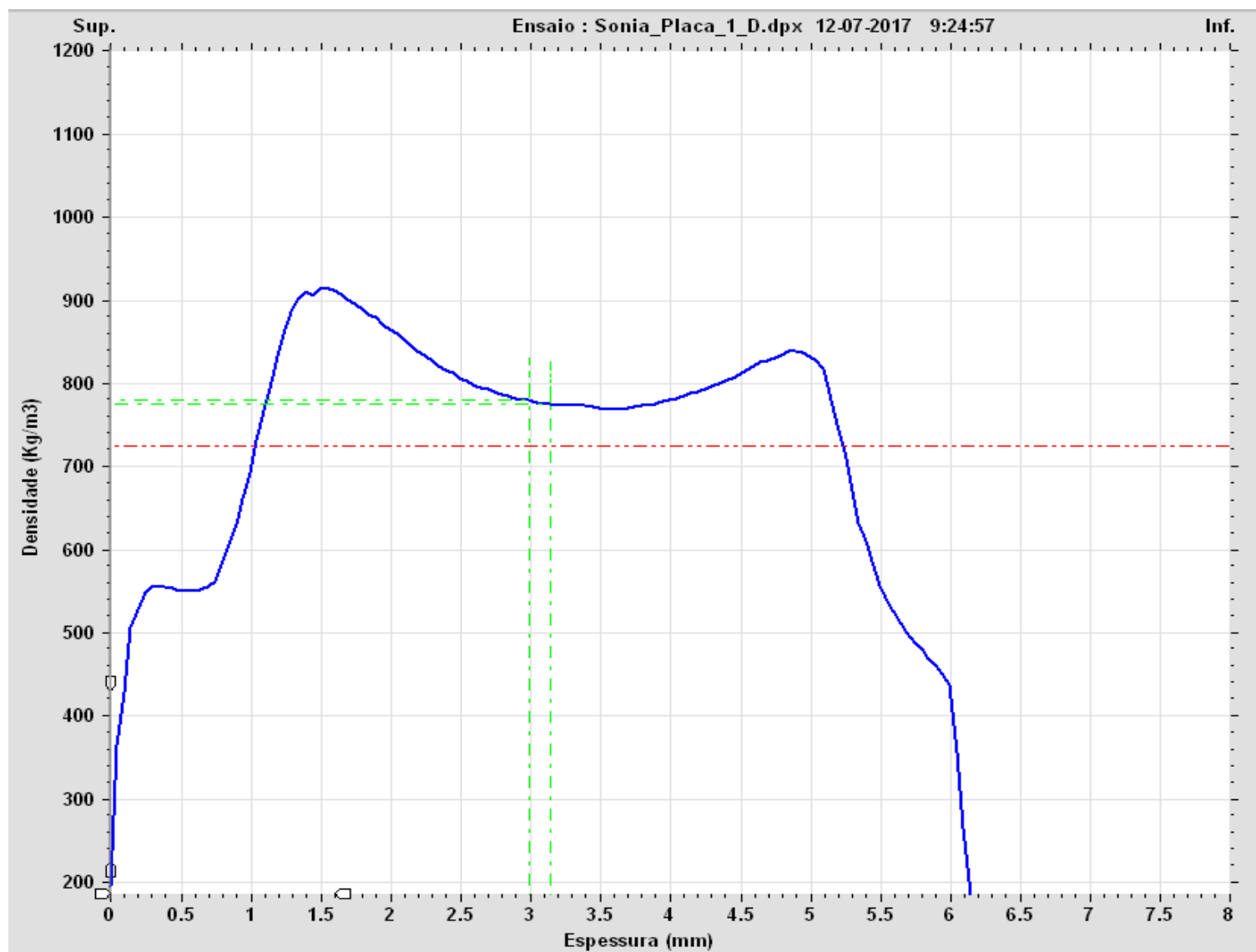


Figura E. 4 - Perfil de densidade do provete D, da placa 1.

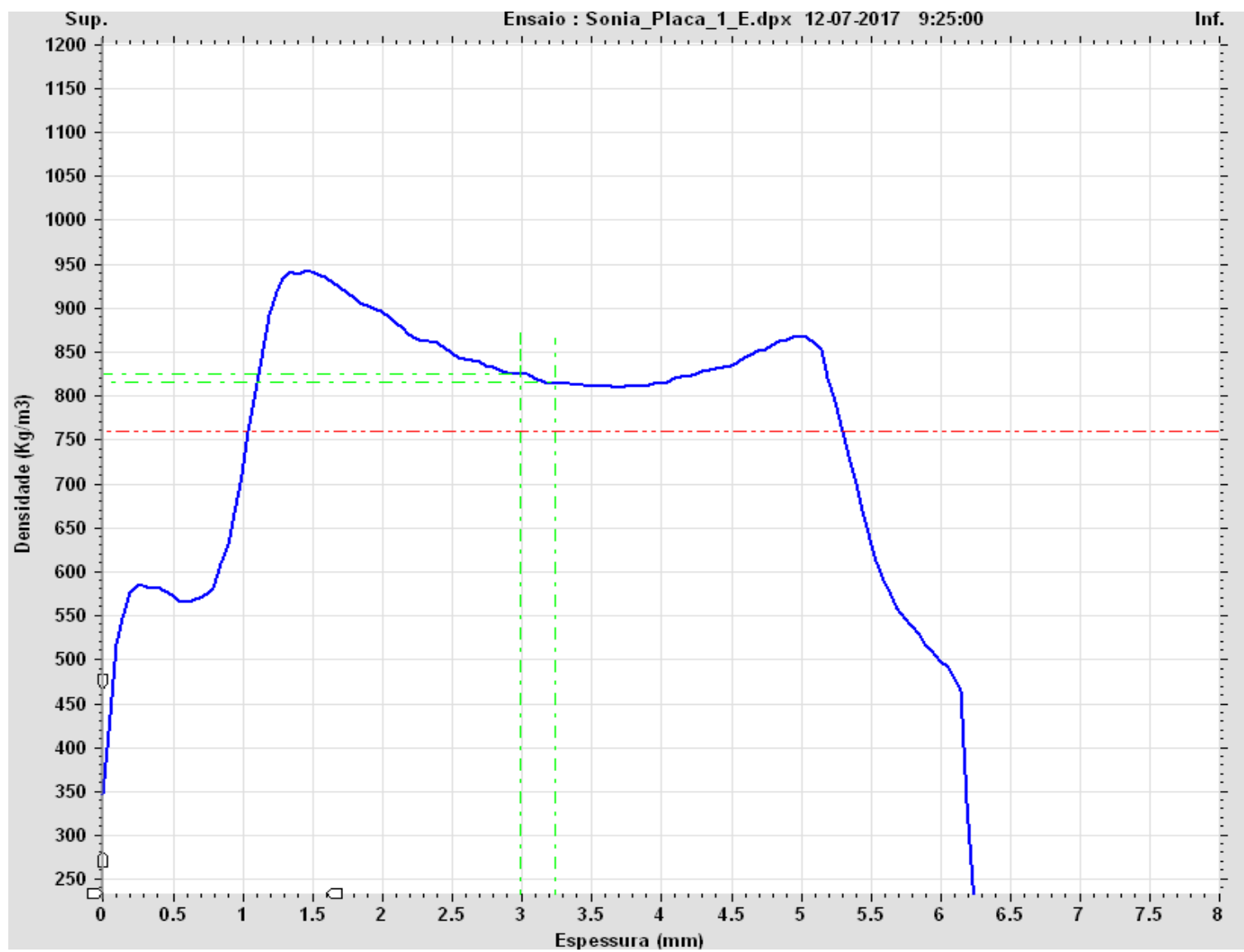


Figura E. 5 - Perfil de densidade do provete E, da placa 1.

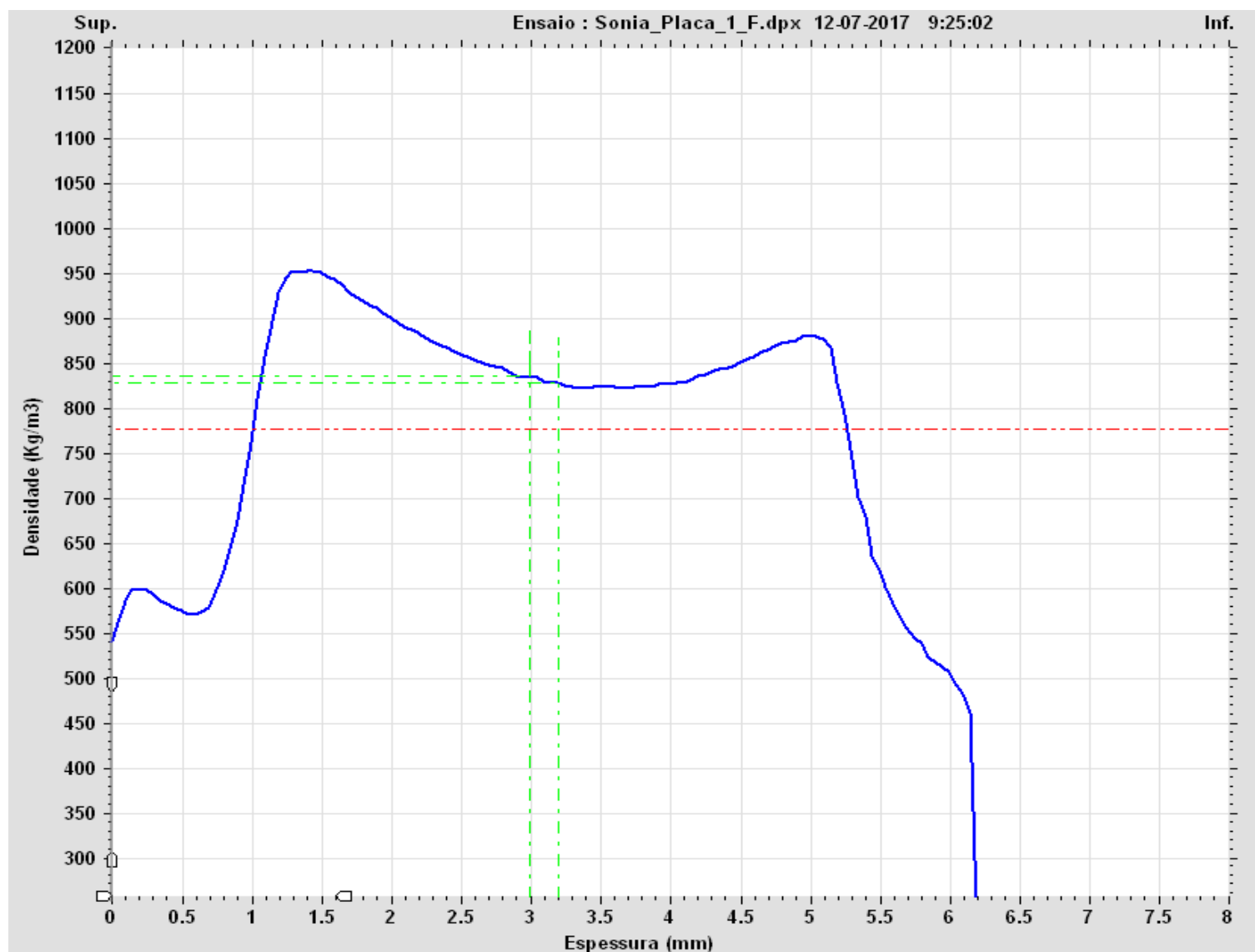


Figura E. 6 - Perfil de densidade do provete F, da placa 1.

As Figuras E.7 a E.12, representam os perfis de densidade dos provetes A a F, respectivamente, obtidos para a Placa 2.

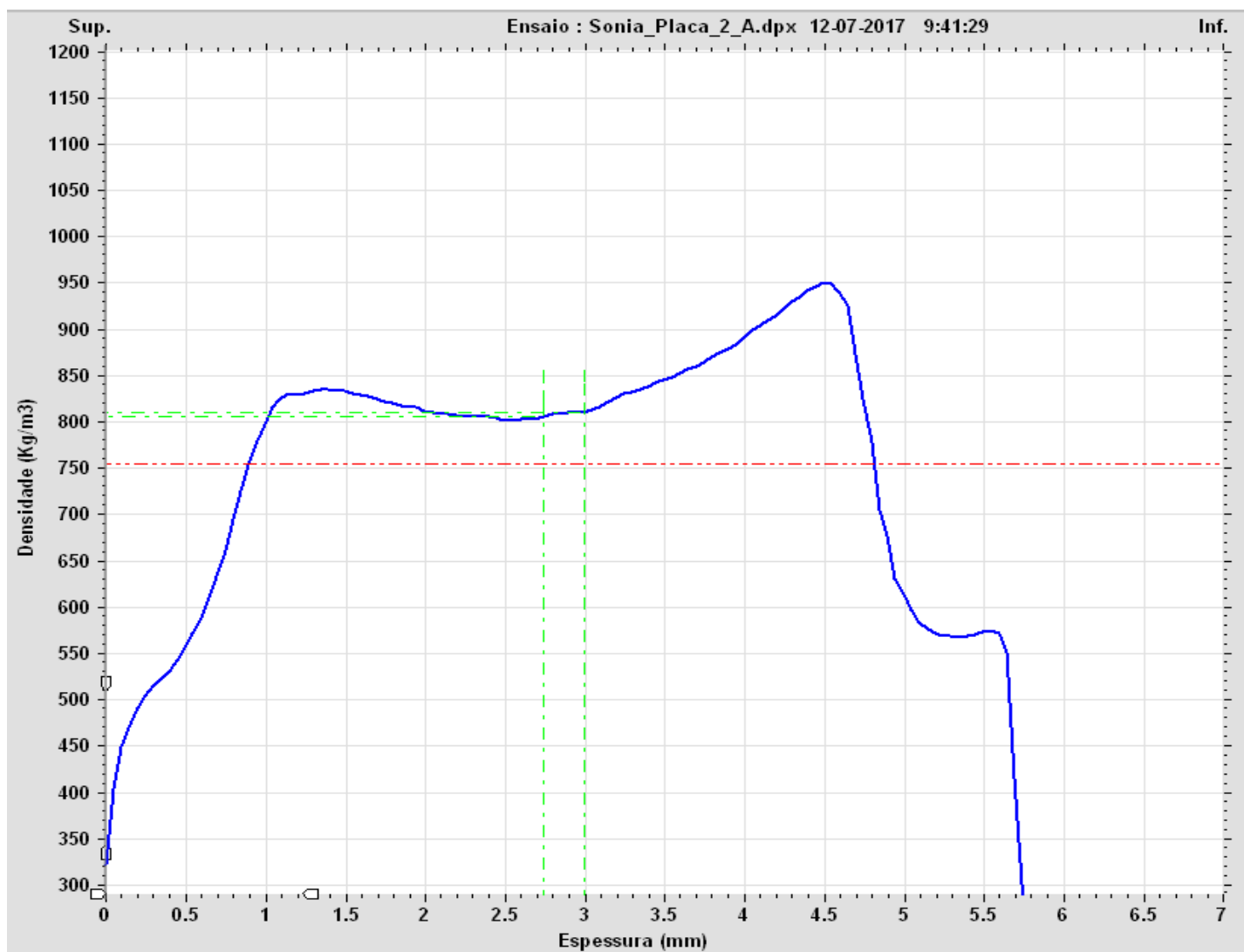


Figura E. 7 - Perfil de densidade do provete A, da placa 2.

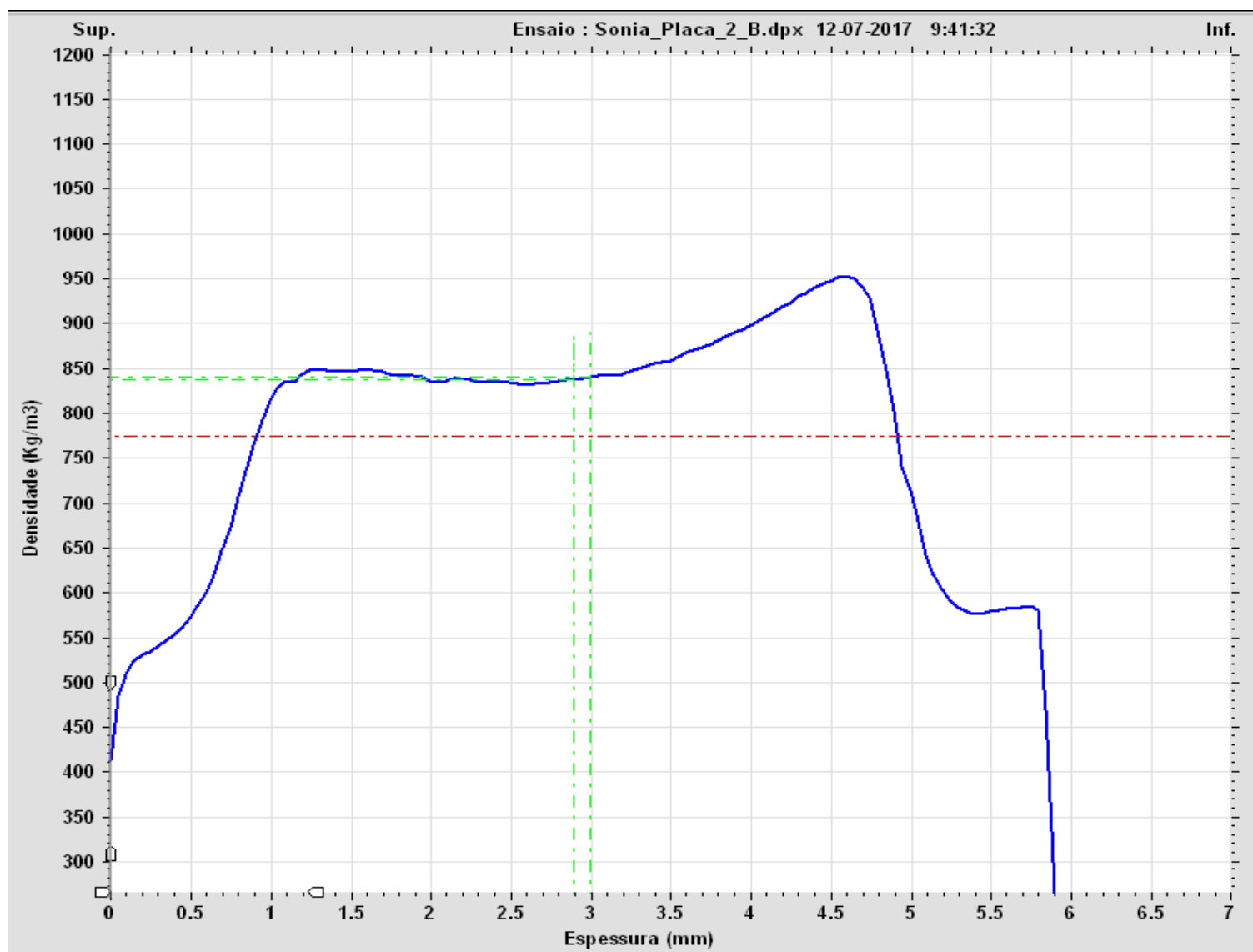


Figura E. 8 - Perfil de densidade do provete B, da placa 2.

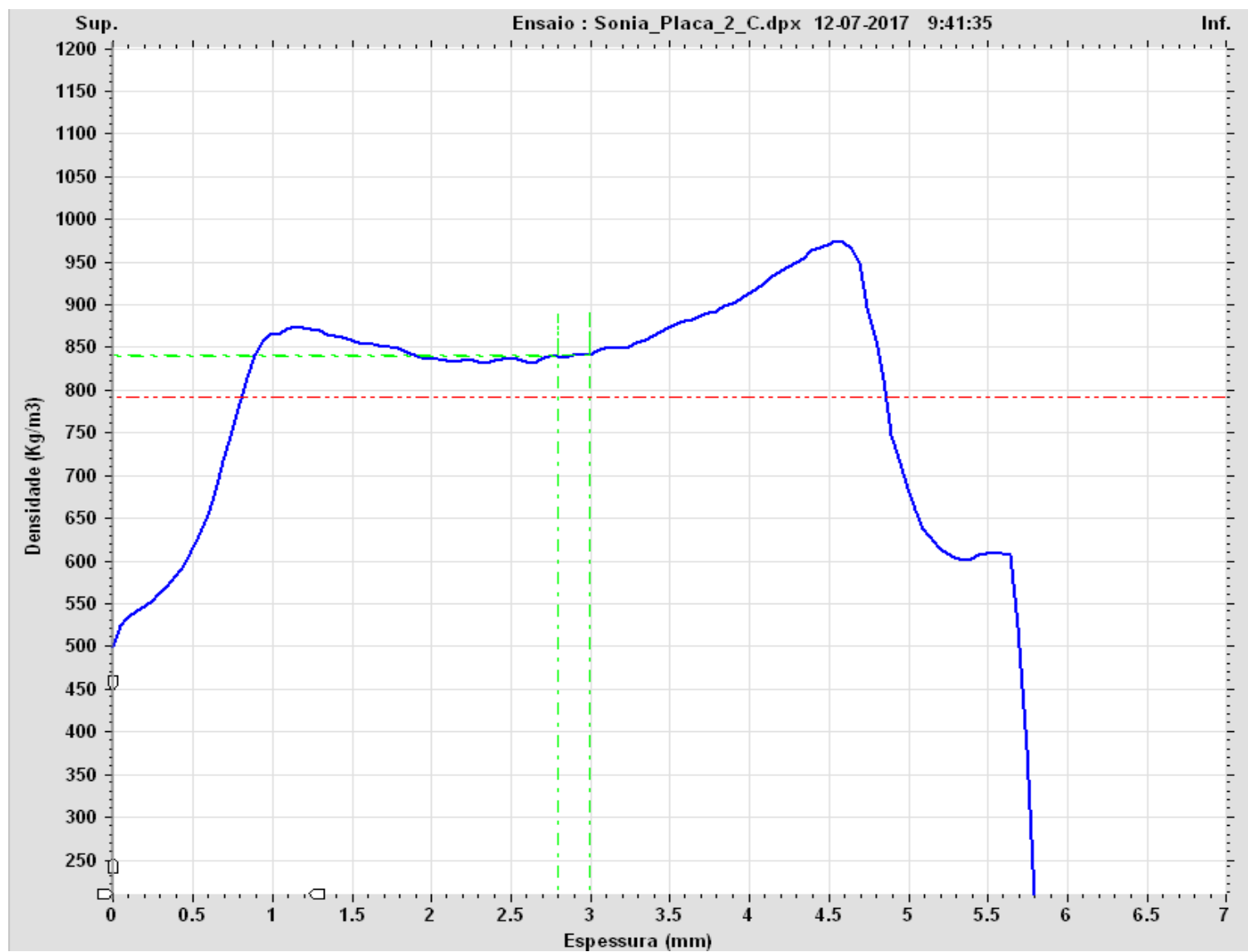


Figura E. 9 - Perfil de densidade do provete C, da placa 2.

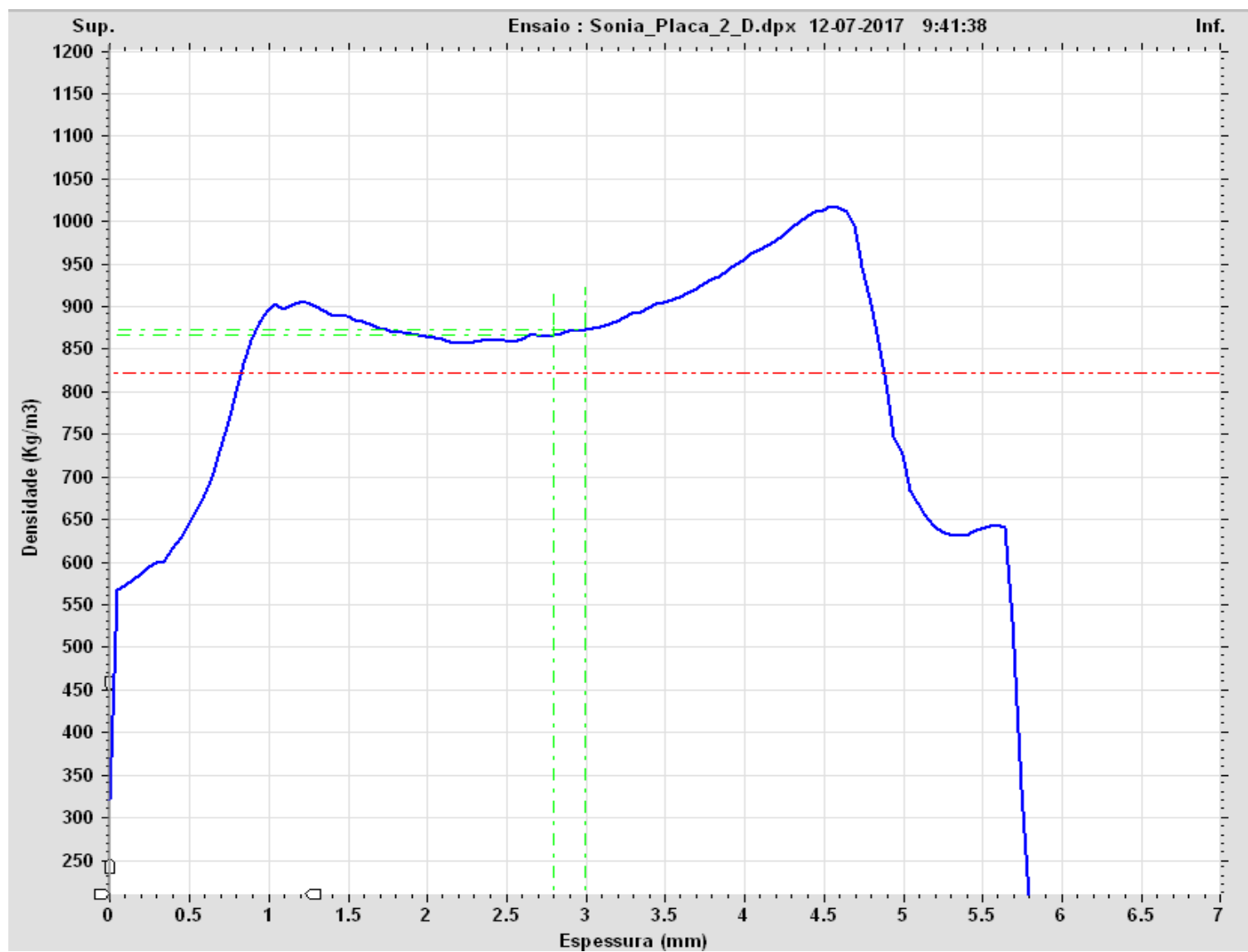


Figura E. 10 - Perfil de densidade do provete D, da placa 2.

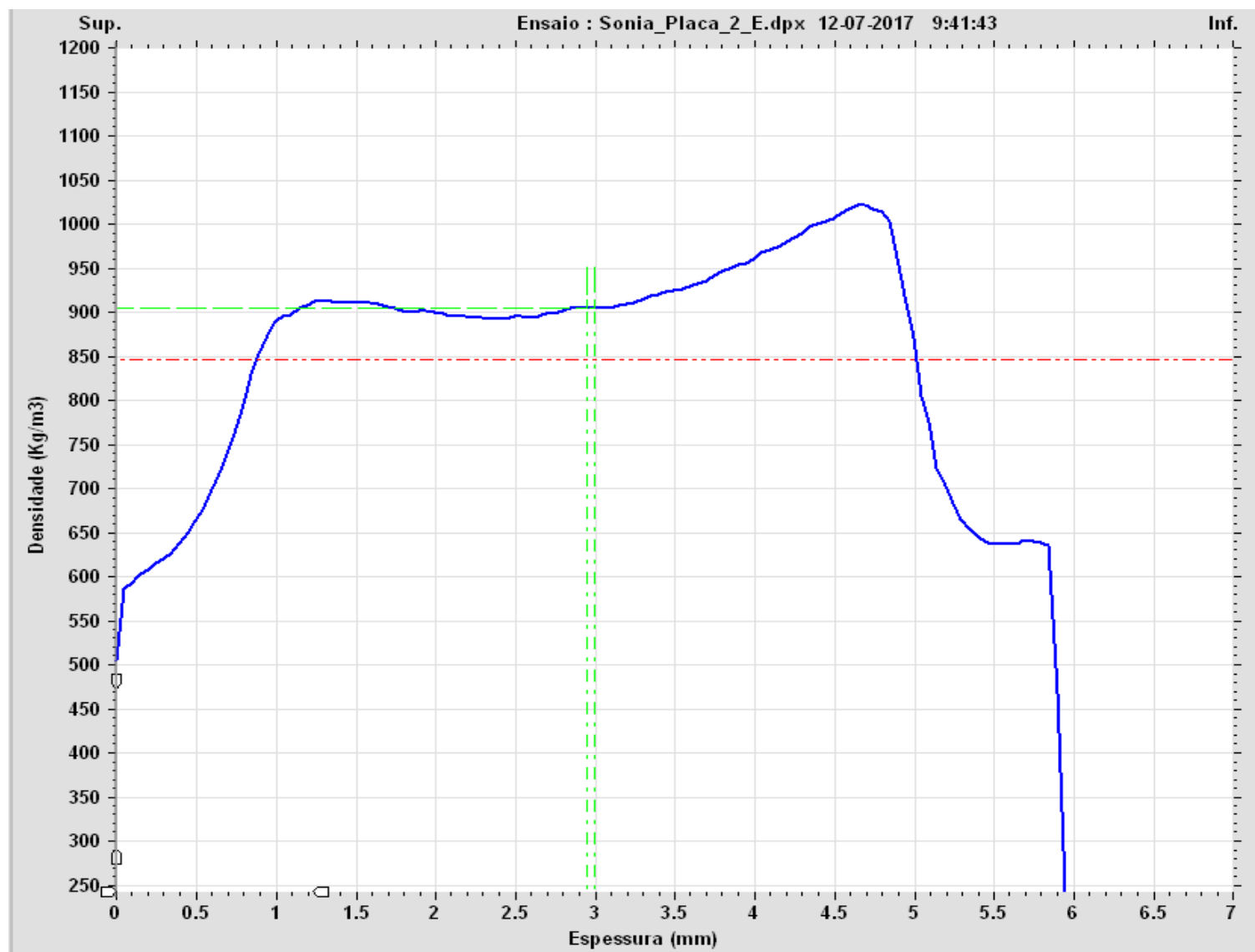


Figura E. 11 - Perfil de densidade do provete E, da placa 2.

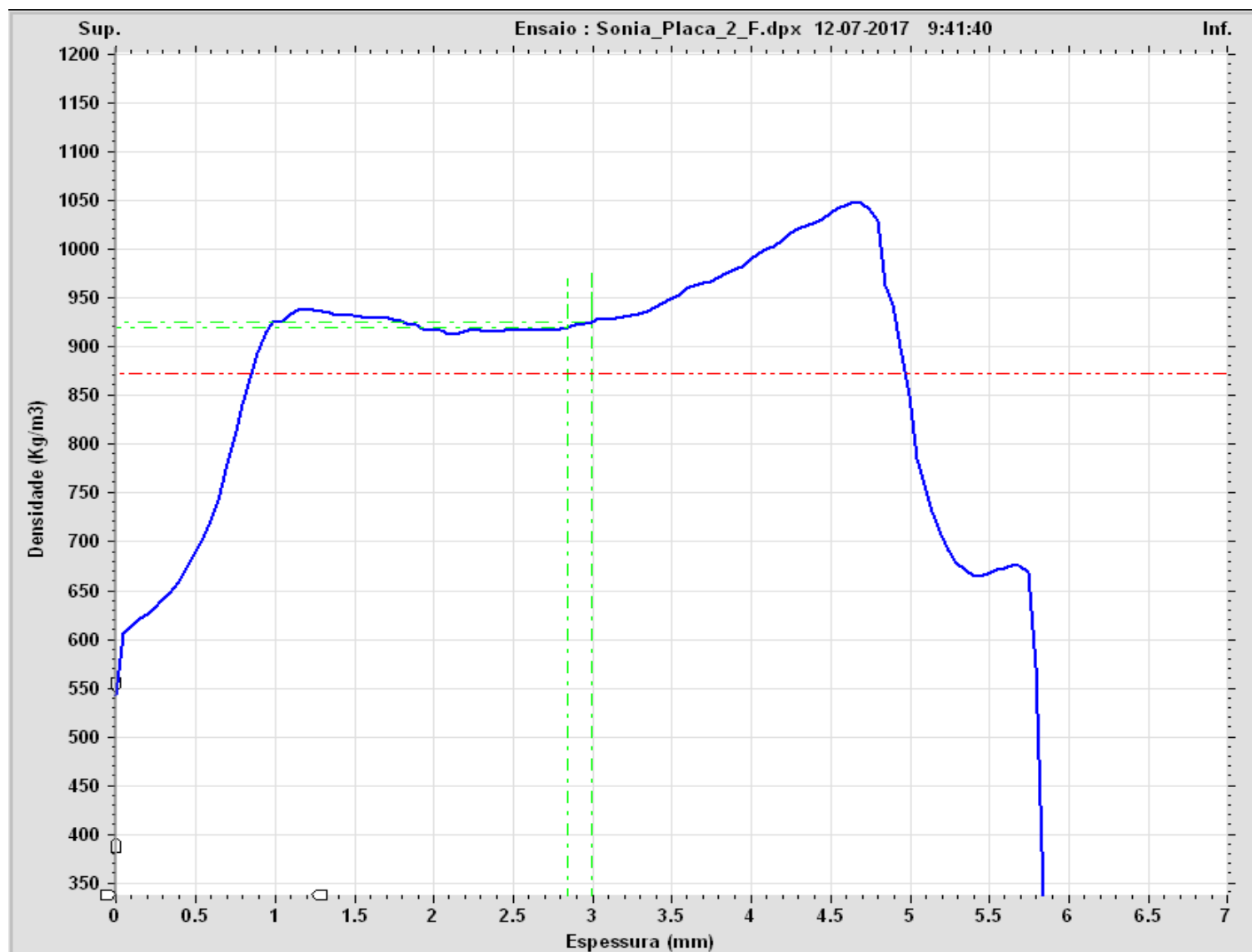


Figura E. 12 - Perfil de densidade do provete F, da placa 2.

As Figuras E.13 a E.18, representam os perfis de densidade dos provetes A a F, respetivamente, obtidos para a Placa 3.

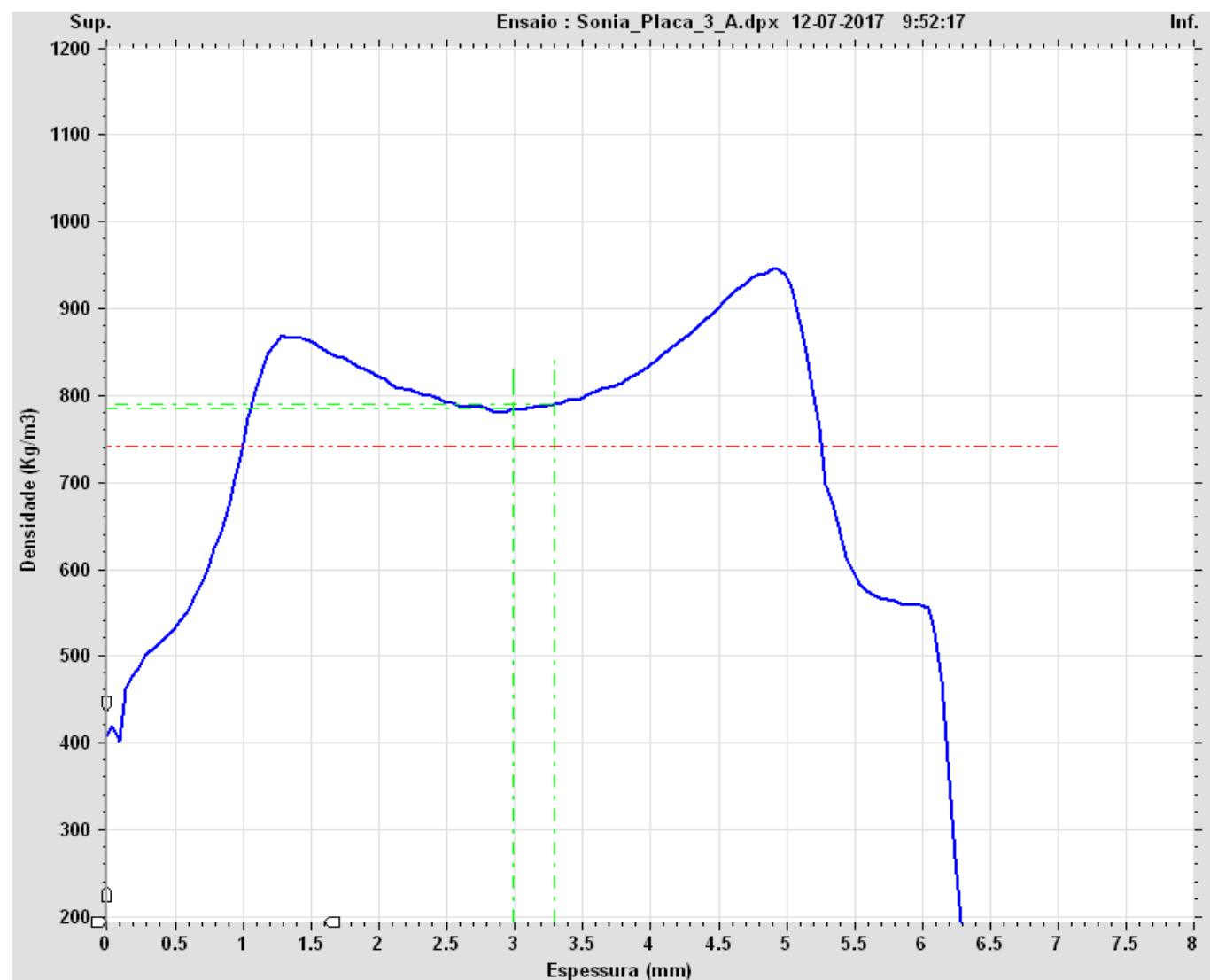


Figura E. 13 - Perfil de densidade do provete A, da placa 3.

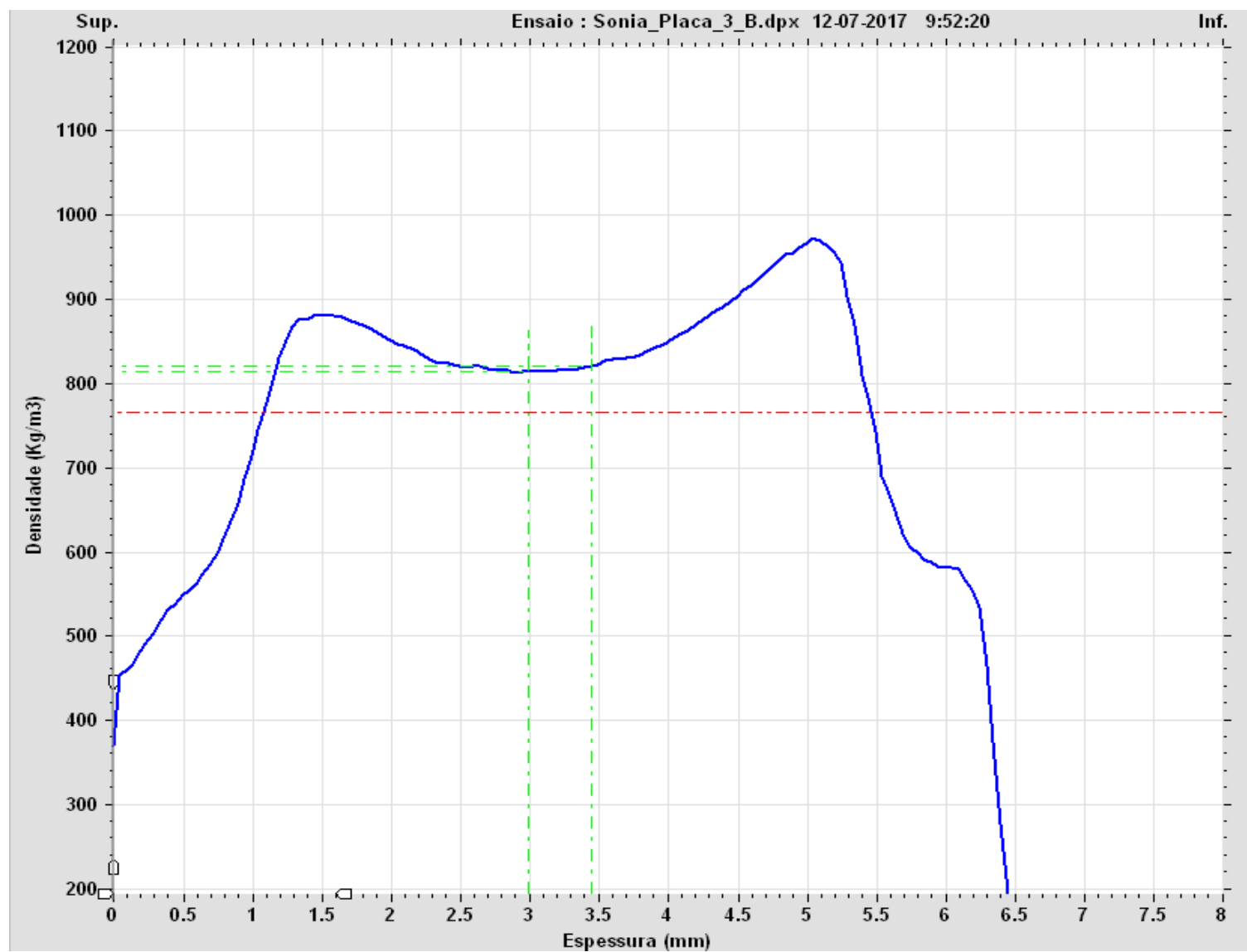


Figura E. 14 - Perfil de densidade do provete B, da placa 3.

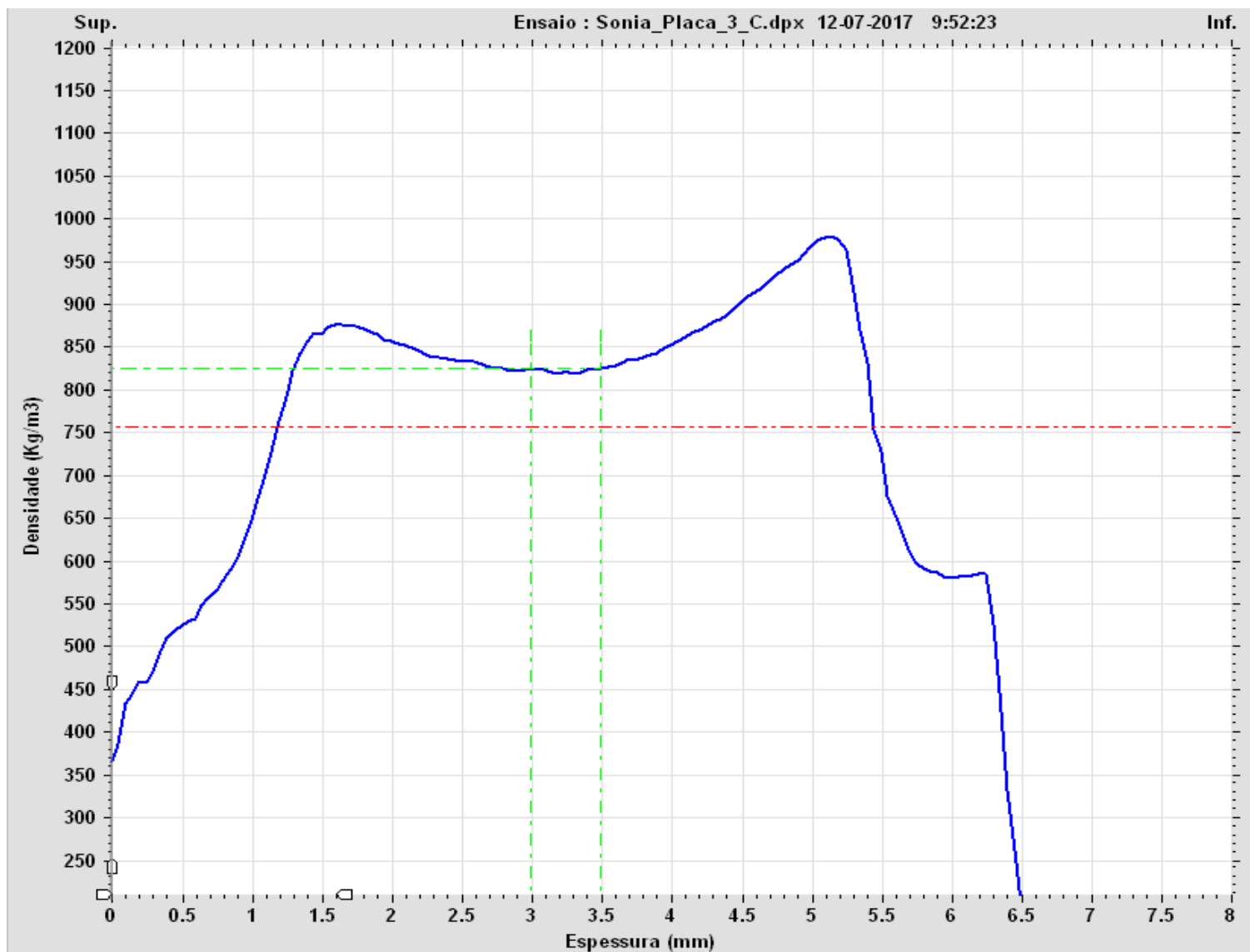


Figura E. 15 - Perfil de densidade do provete C, da placa 3.

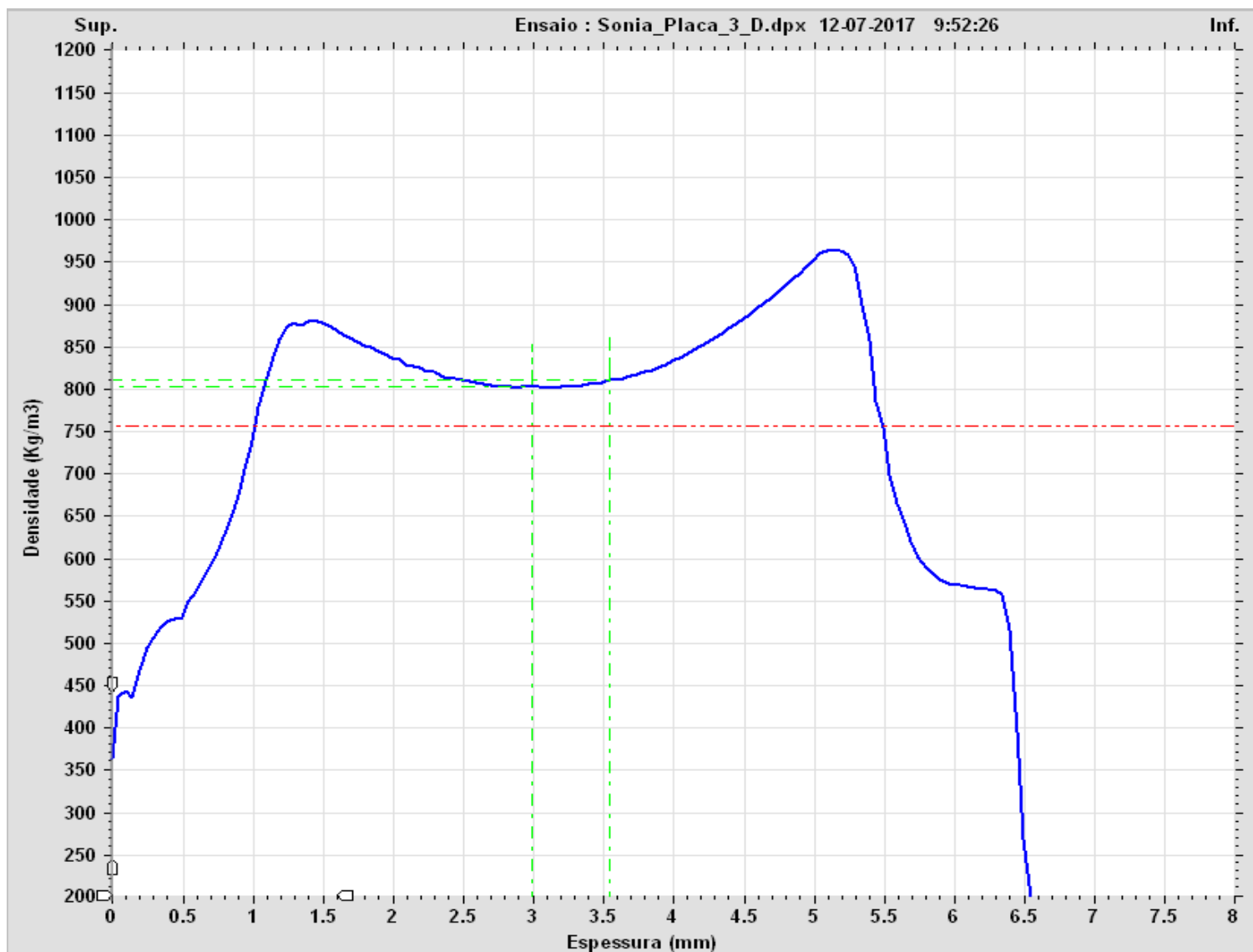


Figura E. 16 - Perfil de densidade do provete D, da placa 3.

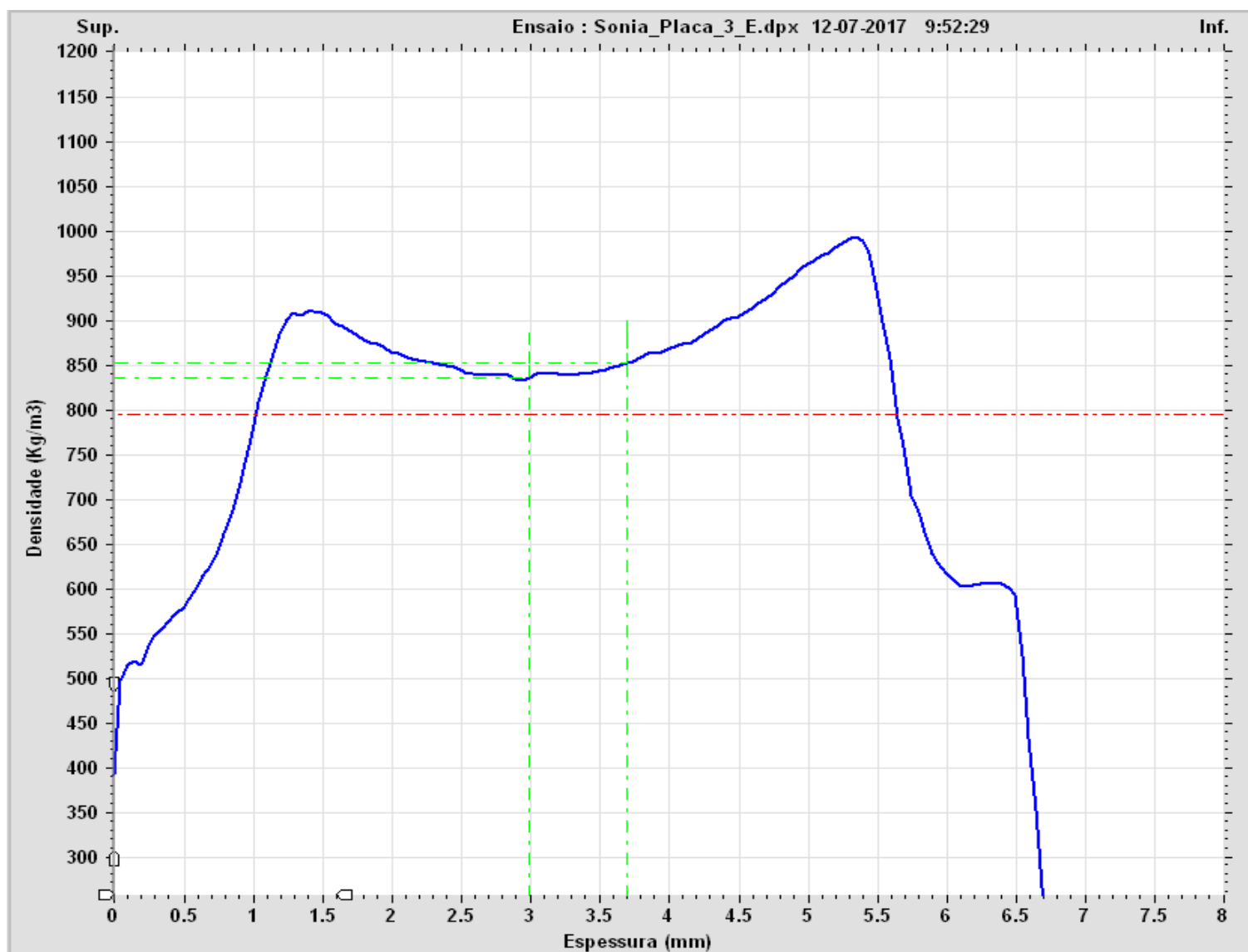


Figura E. 17 - Perfil de densidade do provete E, da placa 3.

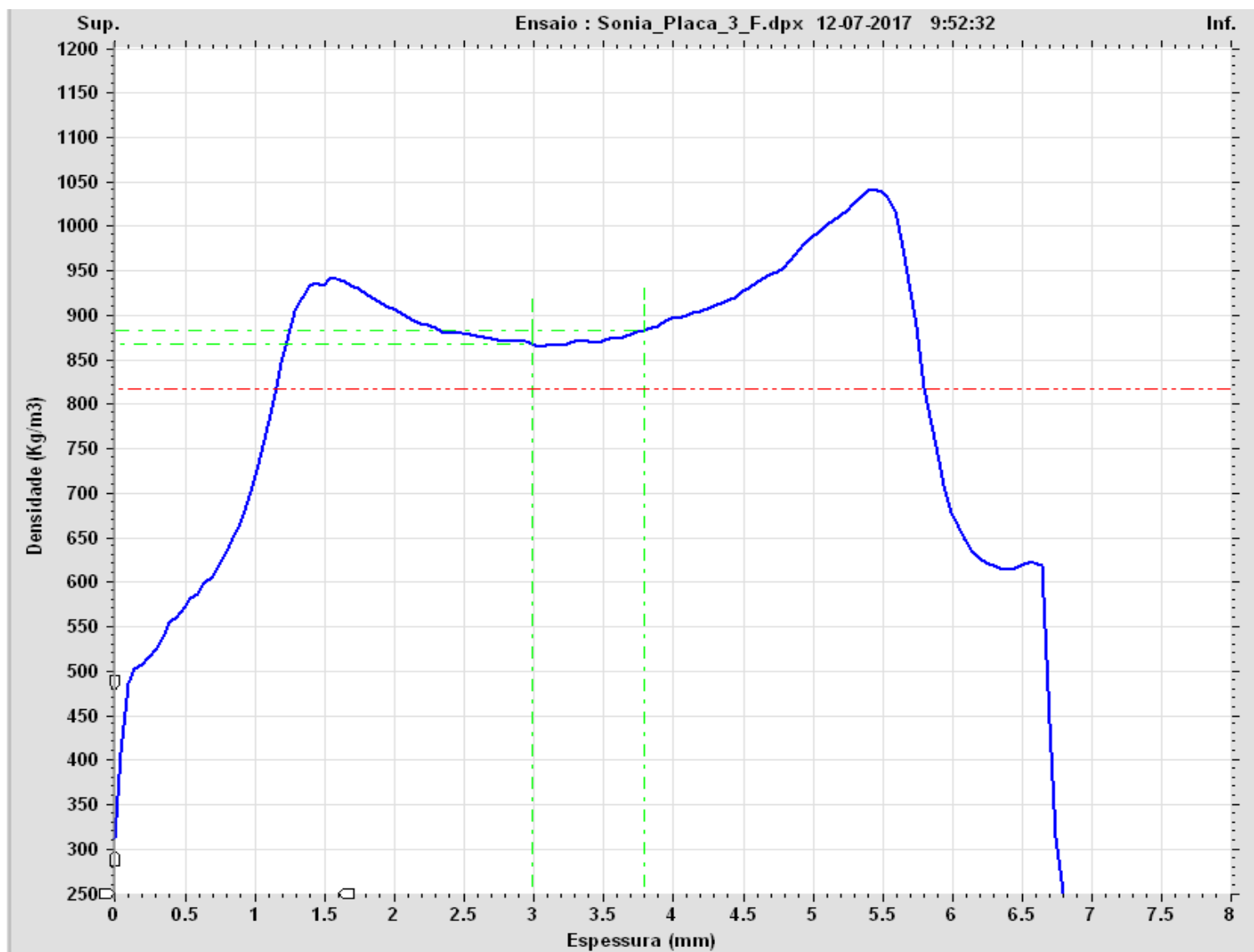


Figura E. 18 - Perfil de densidade do provete F, da placa 3.

As Figuras E.19 a E.24, representam os perfis de densidade dos provetes A a F, respetivamente, obtidos para a Placa 4.

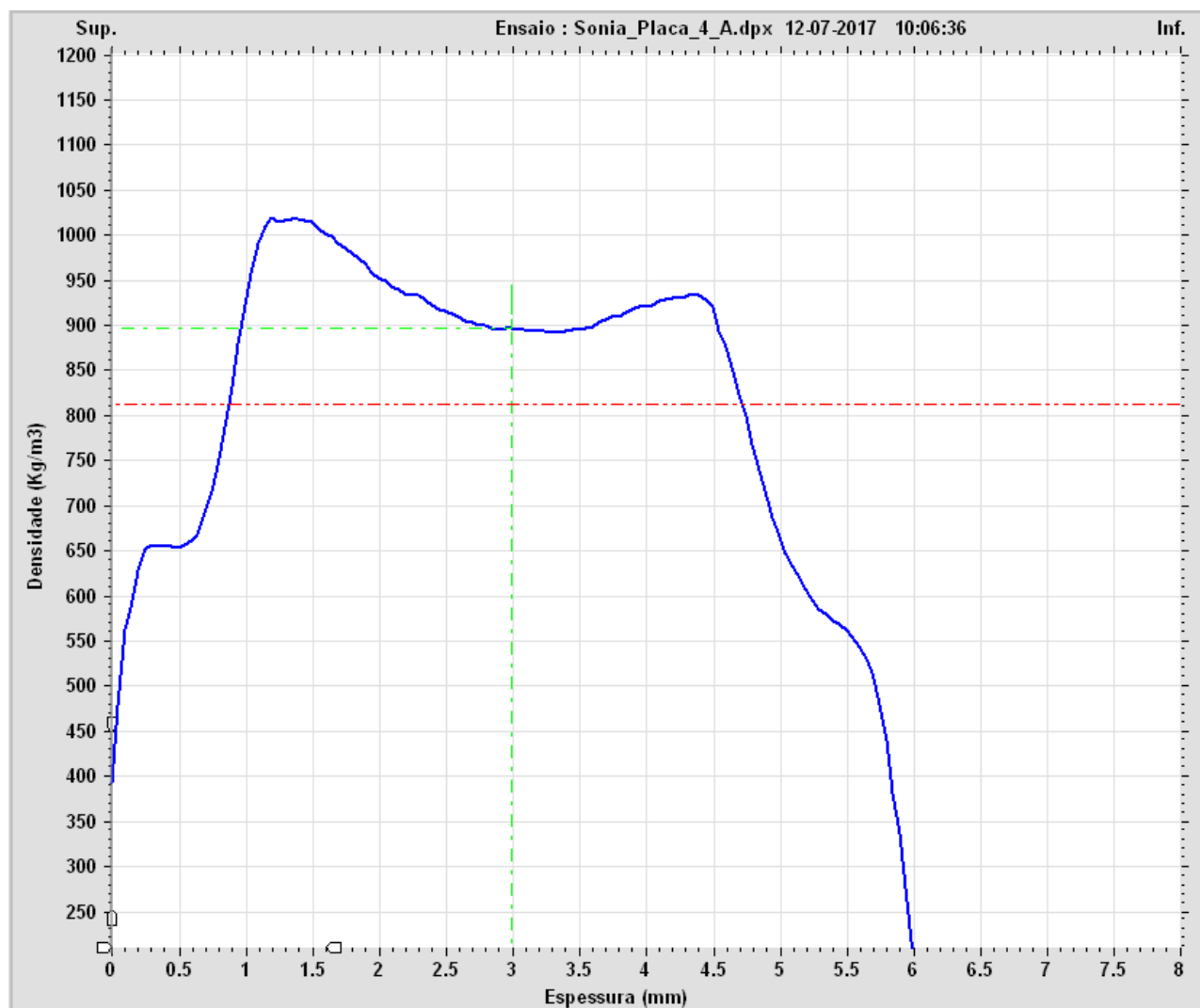


Figura E. 19 - Perfil de densidade do provete A, da placa 4.

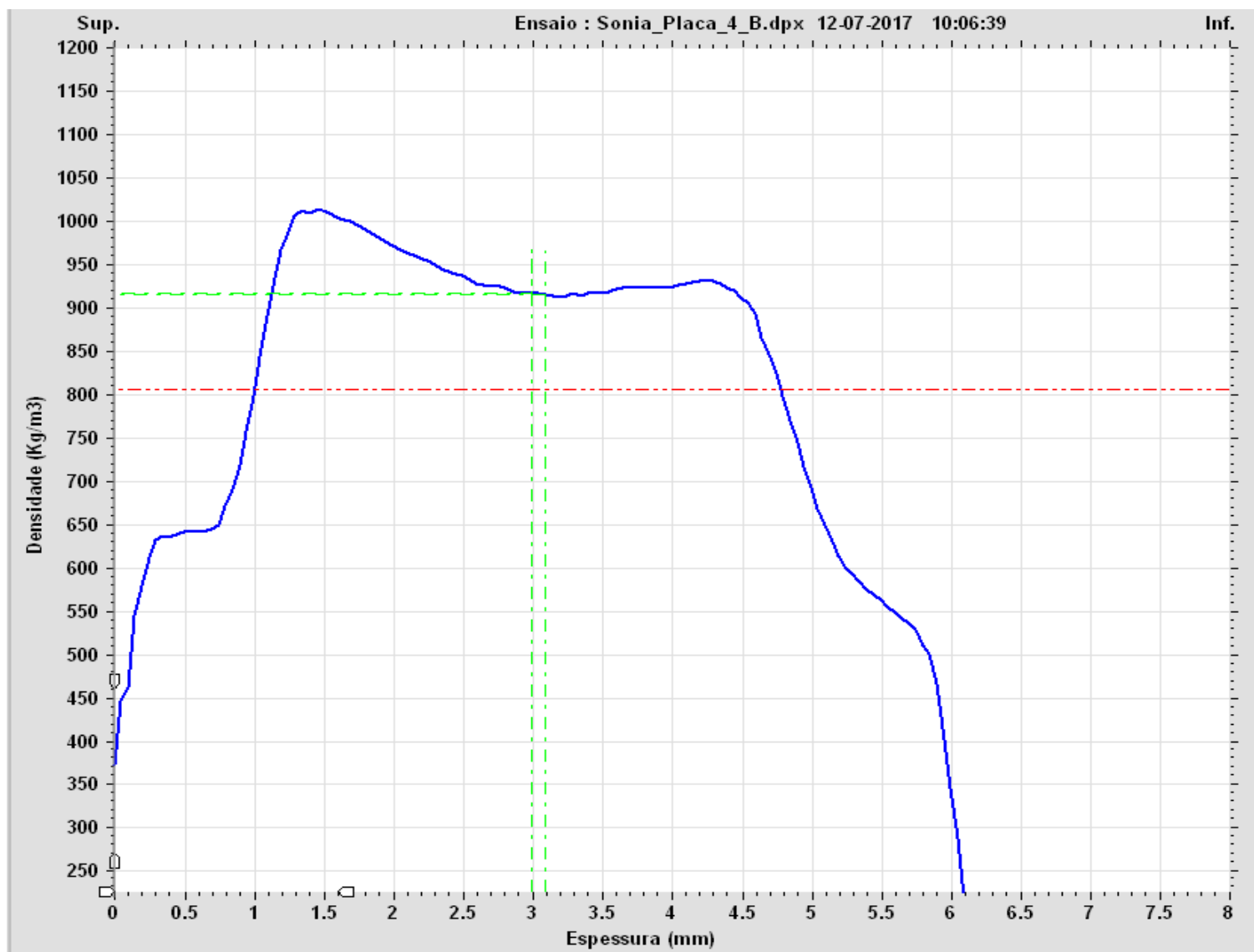


Figura E. 20 - Perfil de densidade do provete B, da placa 4.

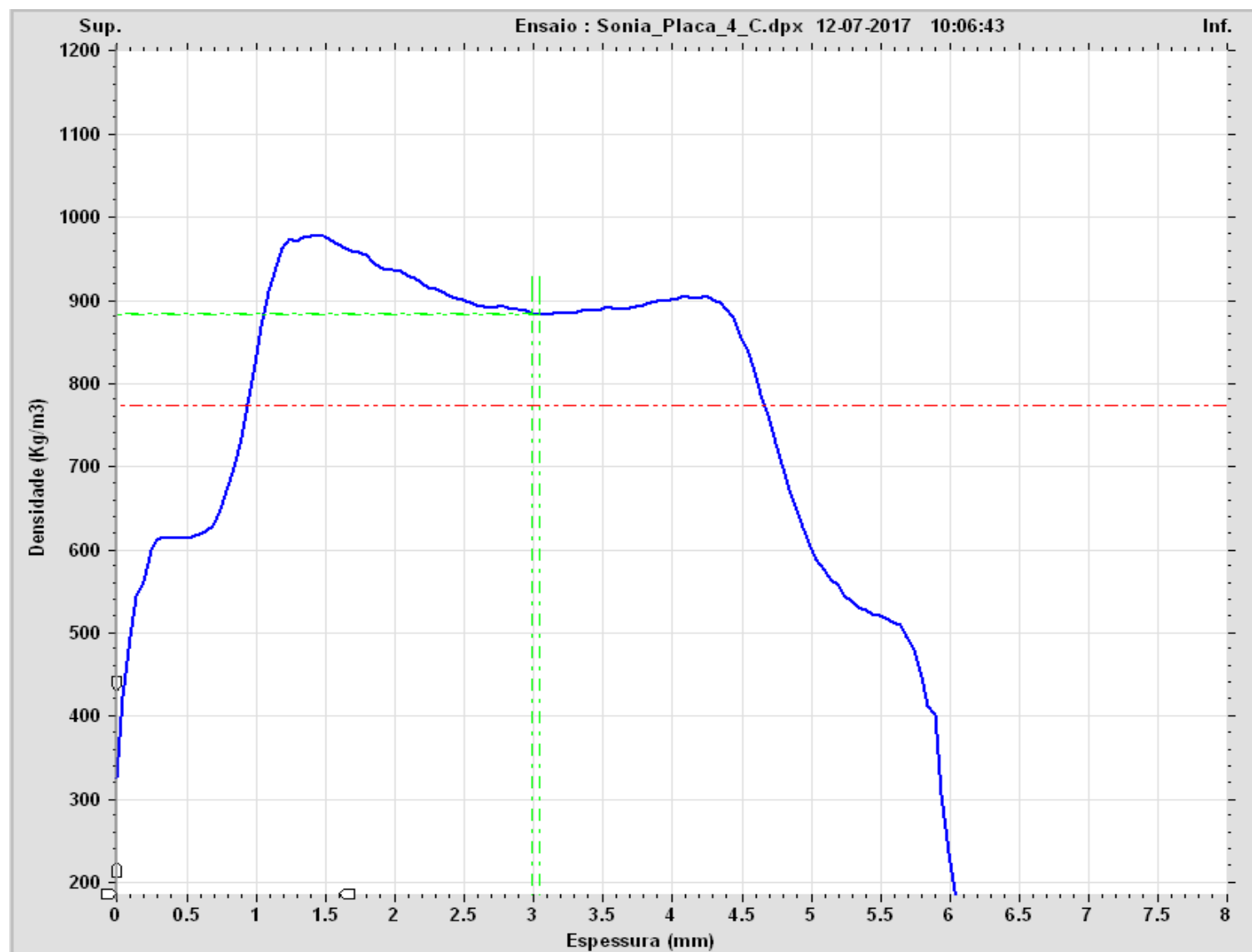


Figura E. 21 - Perfil de densidade do provete C, da placa 4.

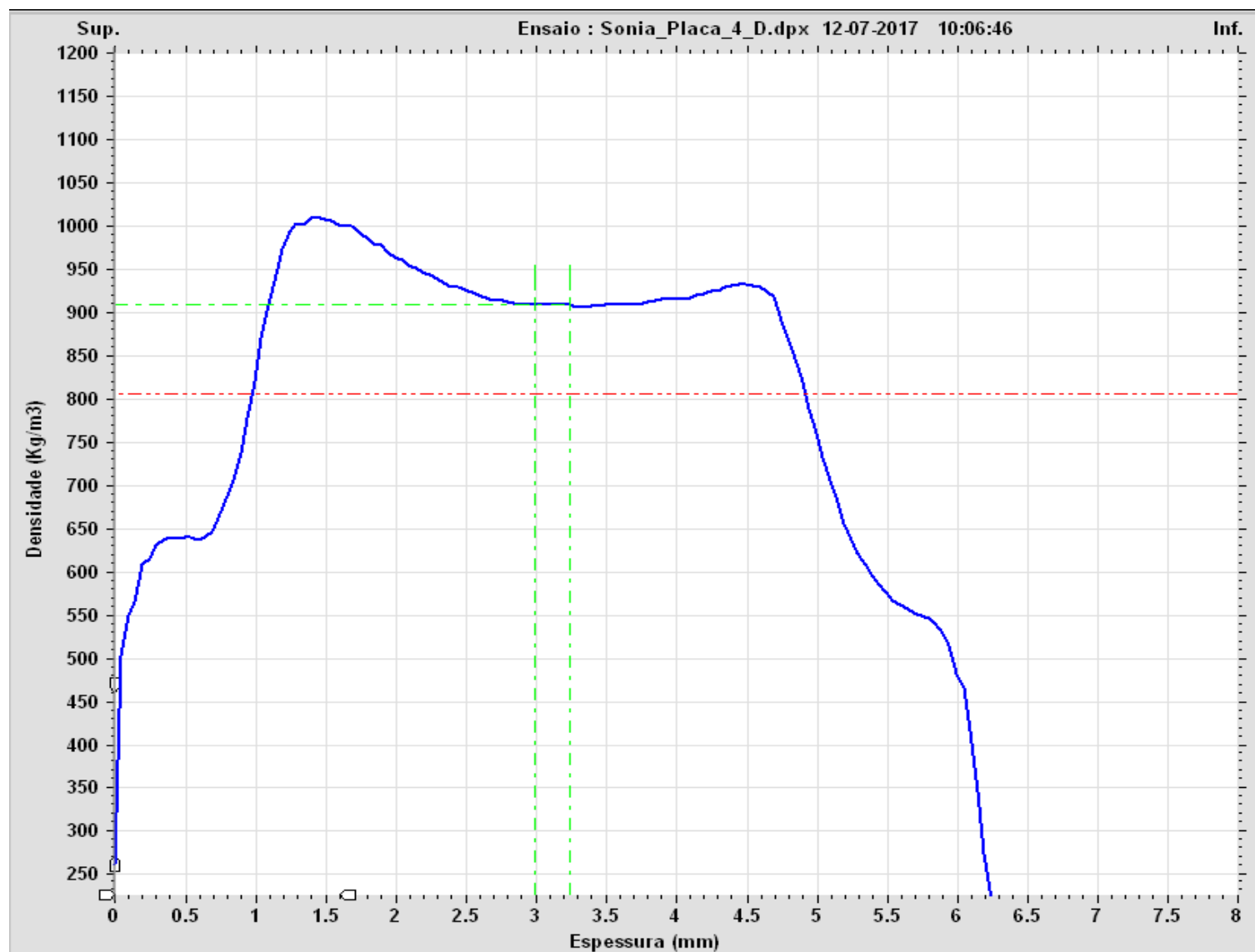


Figura E. 22 - Perfil de densidade do provete D, da placa 4.

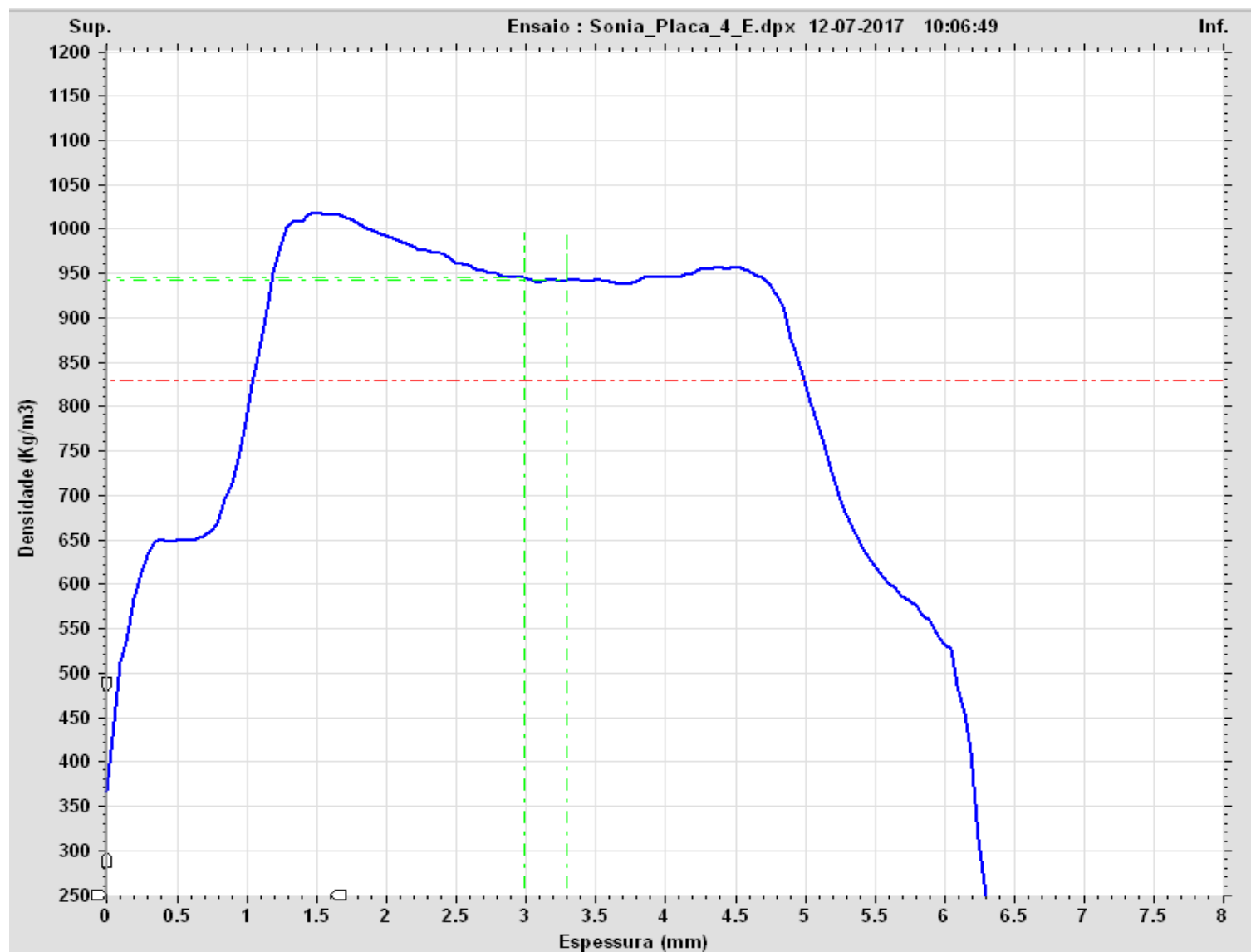


Figura E. 23 - Perfil de densidade do provete E, da placa 4.

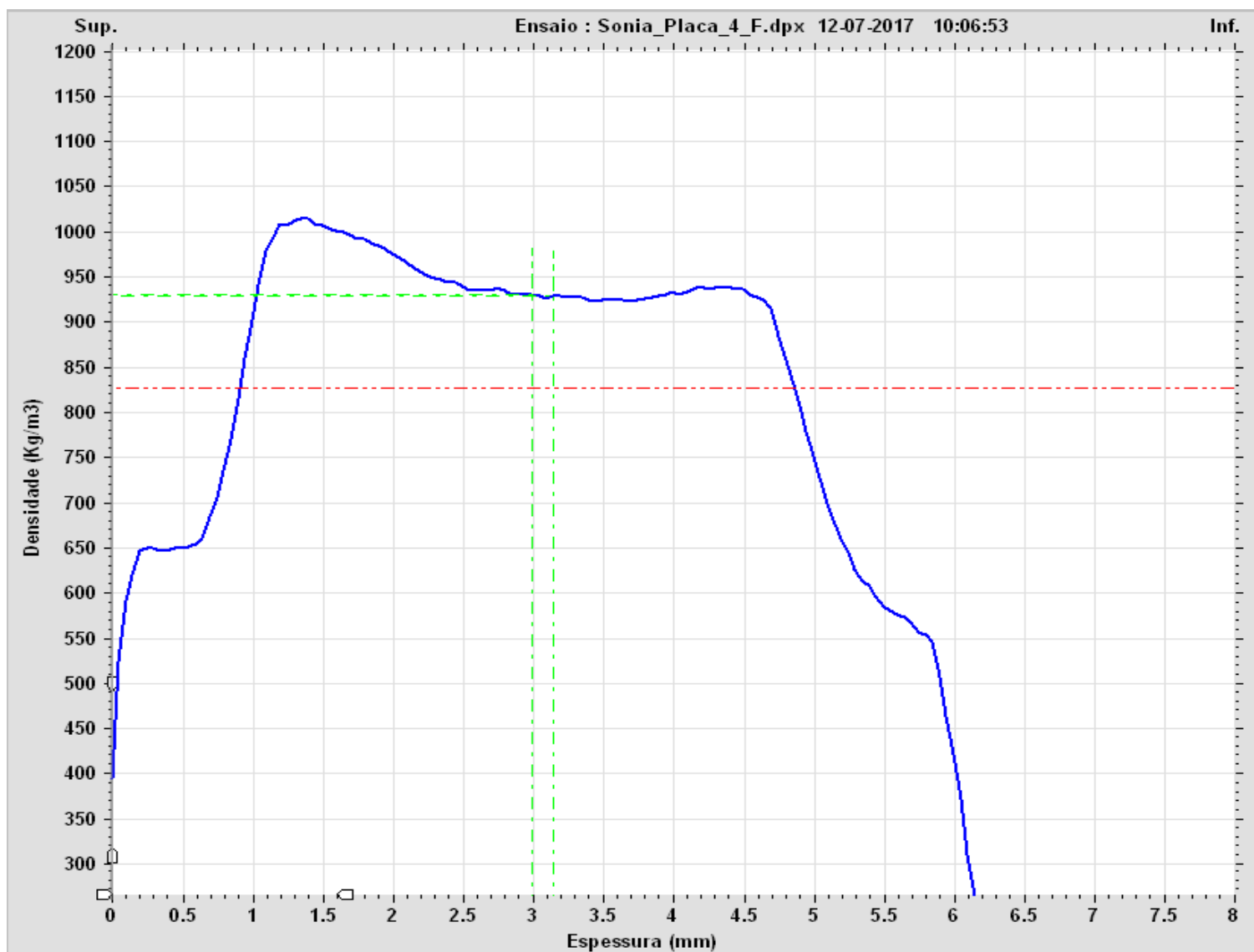


Figura E. 24 - Perfil de densidade do provete F, da placa 4.

As Figuras E.25 a E.30, representam os perfis de densidade dos provetes A a F, respetivamente, obtidos para a Placa 5.

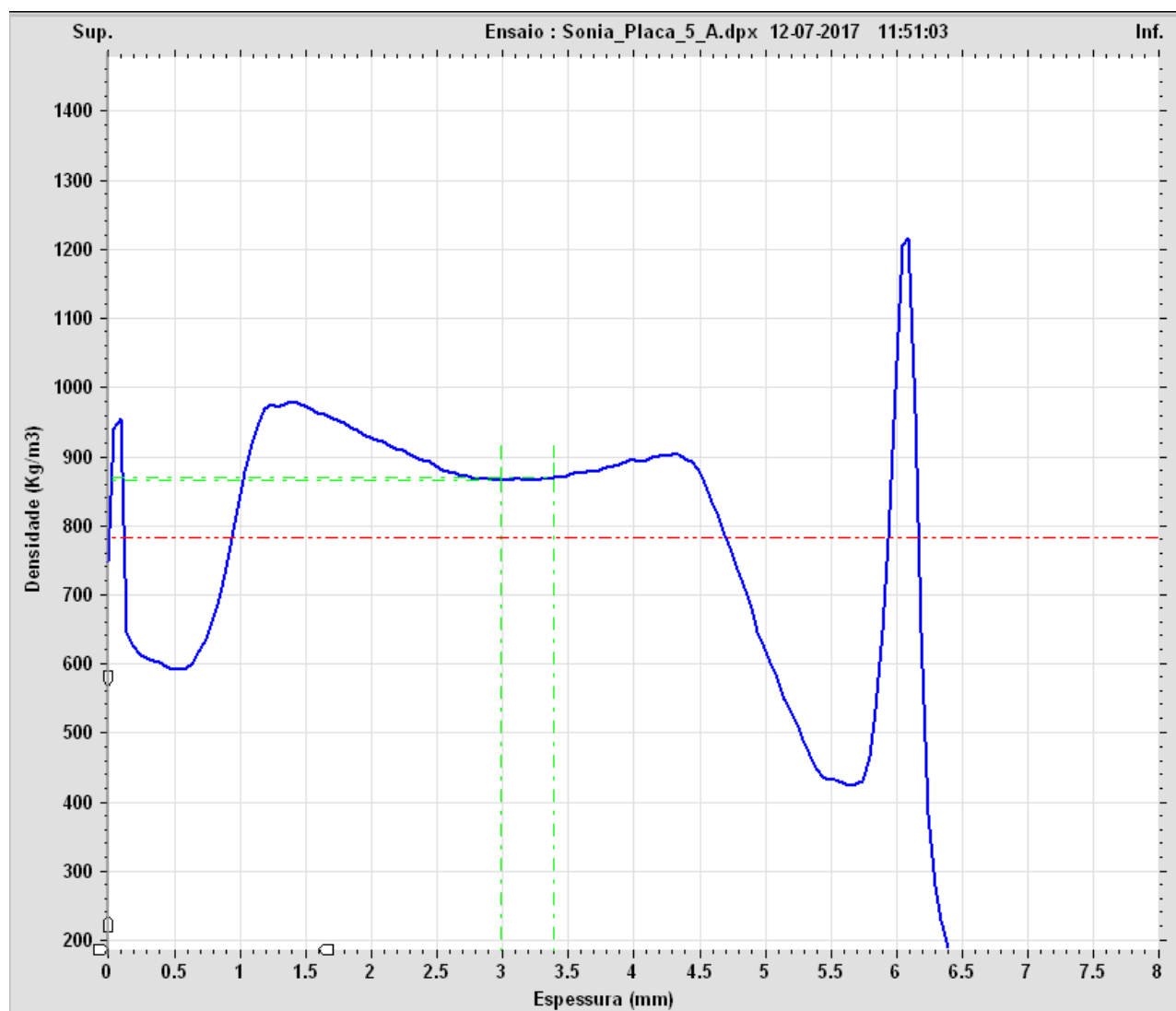


Figura E. 25 - Perfil de densidade do provete A, da placa 5.

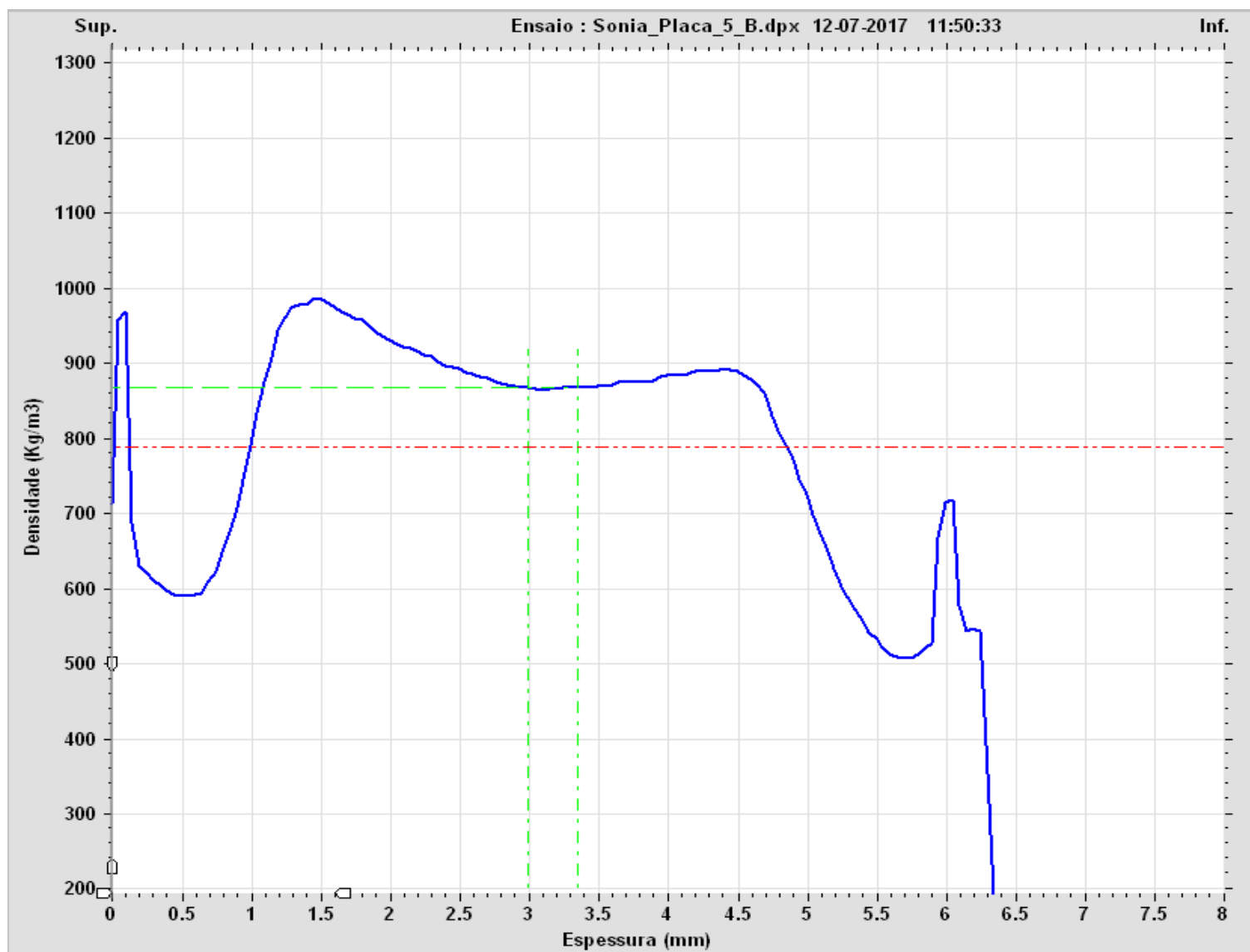


Figura E. 26 - Perfil de densidade do provete B, da placa 5.

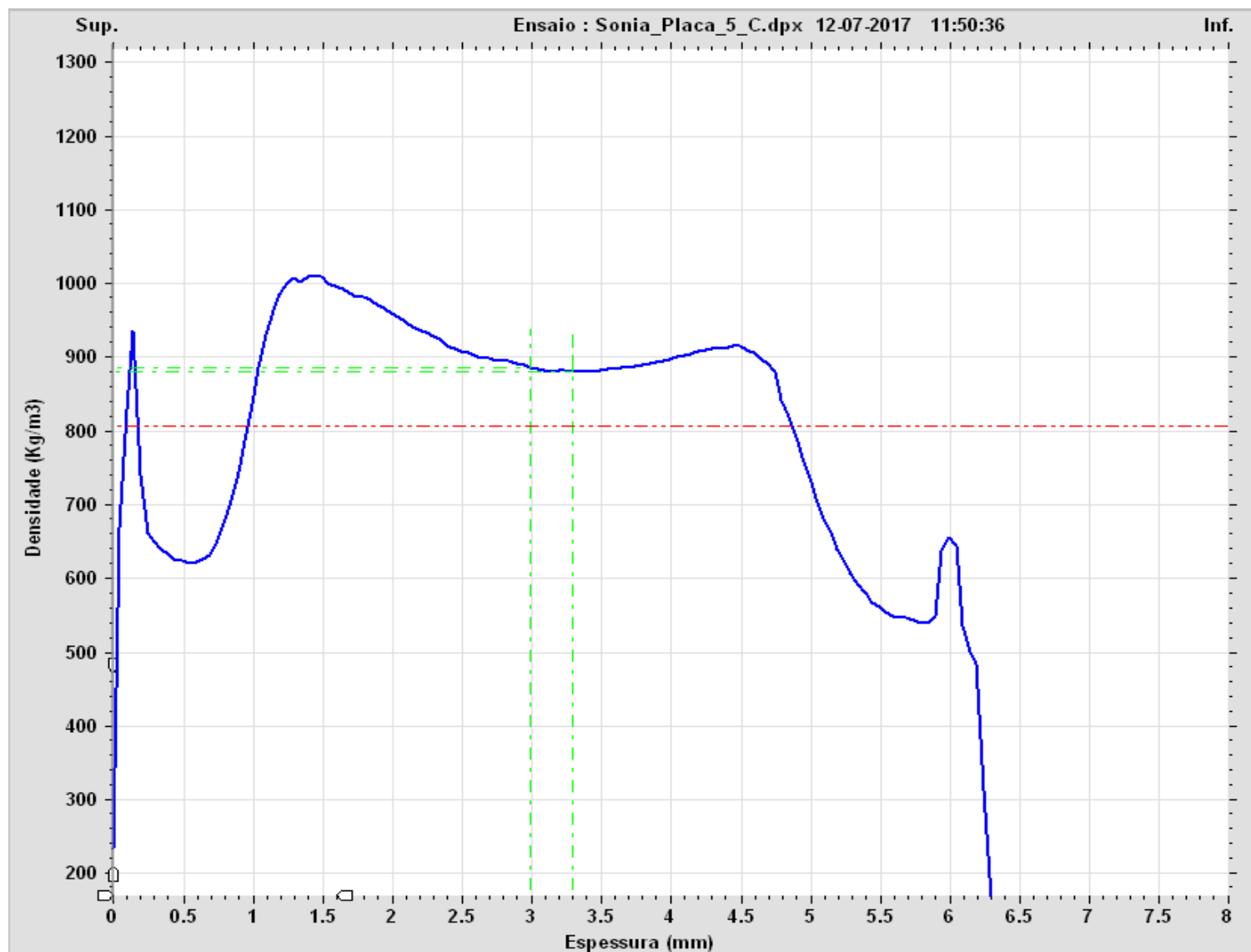


Figura E. 27 - Perfil de densidade do provete C, da placa 5.

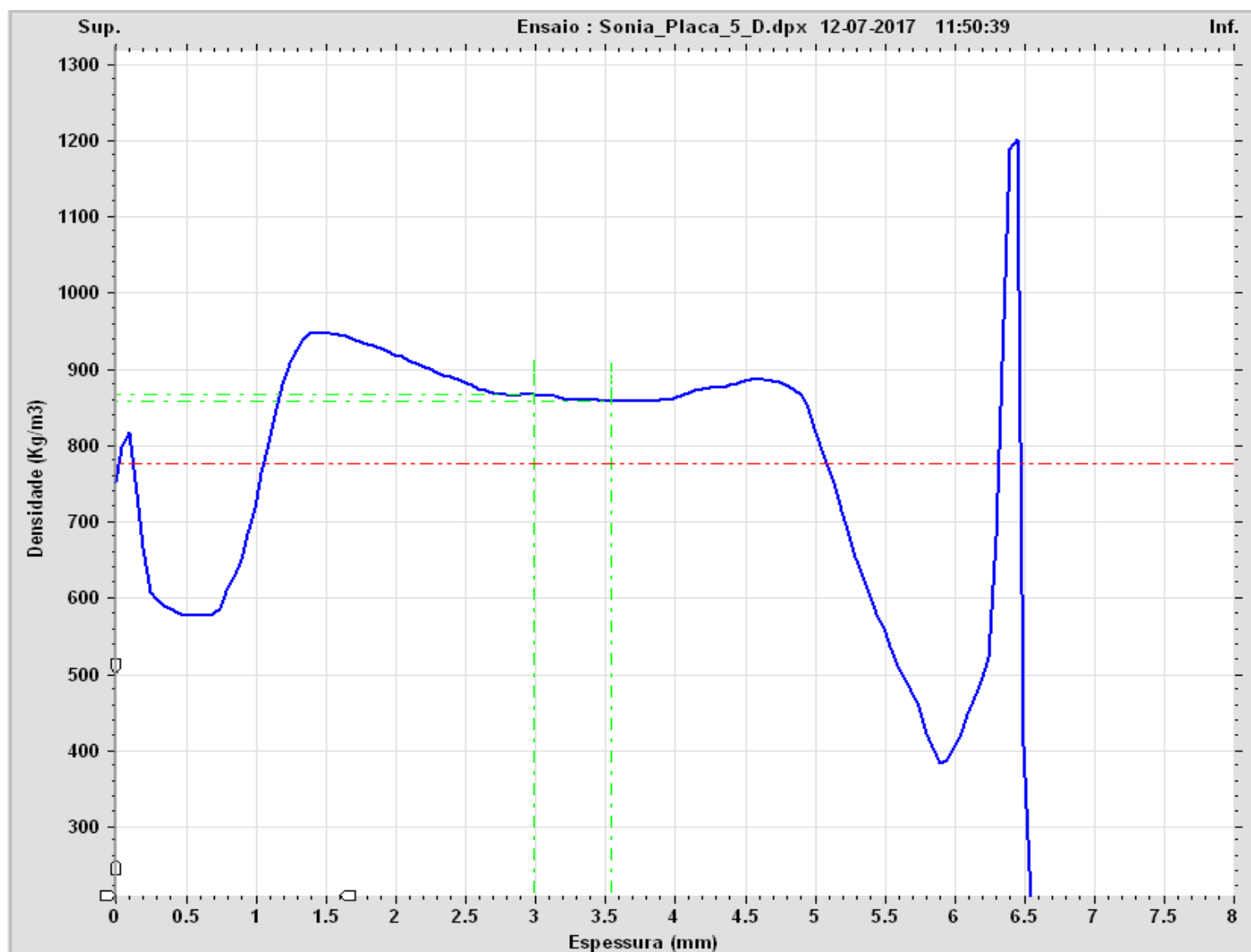


Figura E. 28 - Perfil de densidade do provete D, da placa 5.

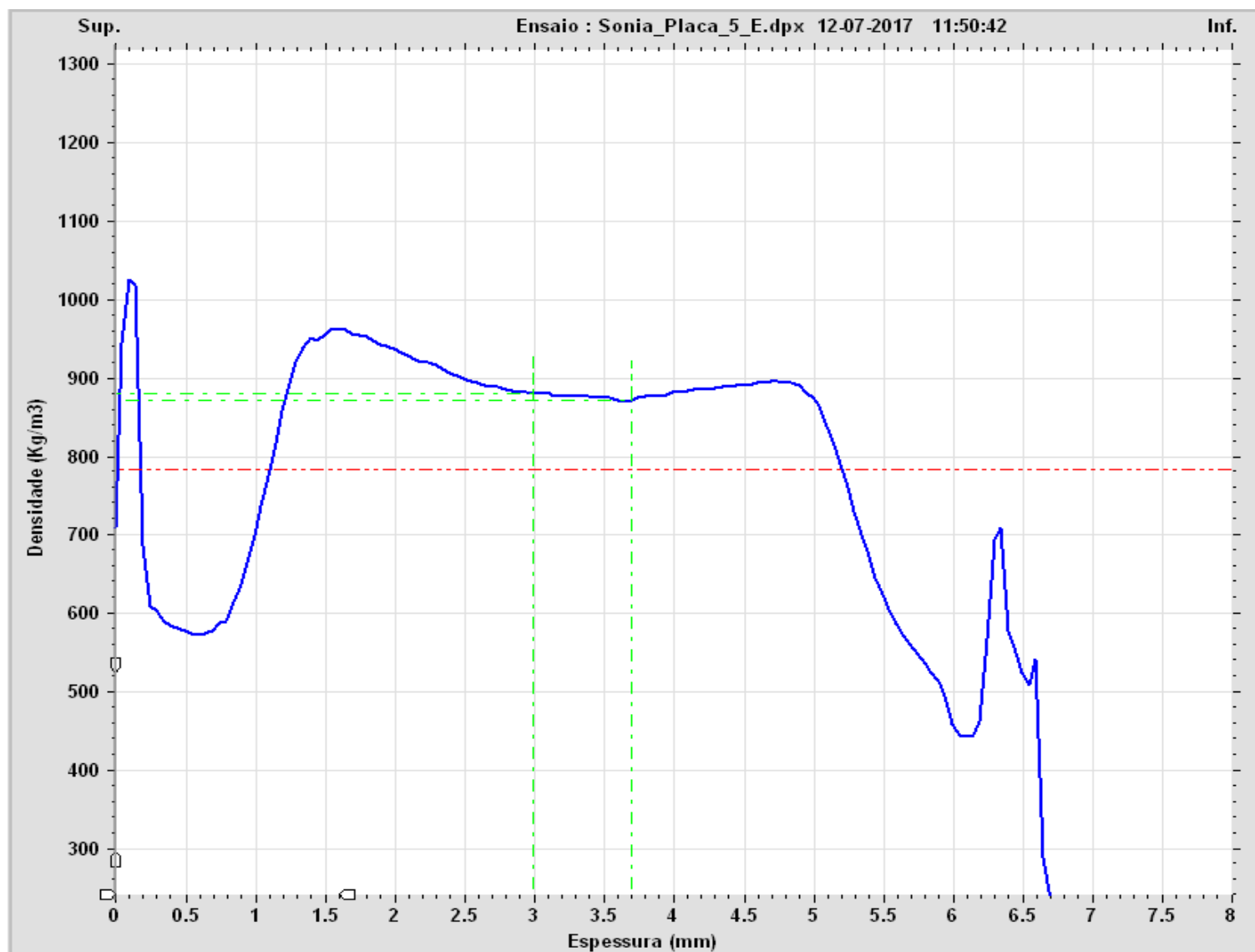


Figura E. 29 - Perfil de densidade do provete E, da placa 5.

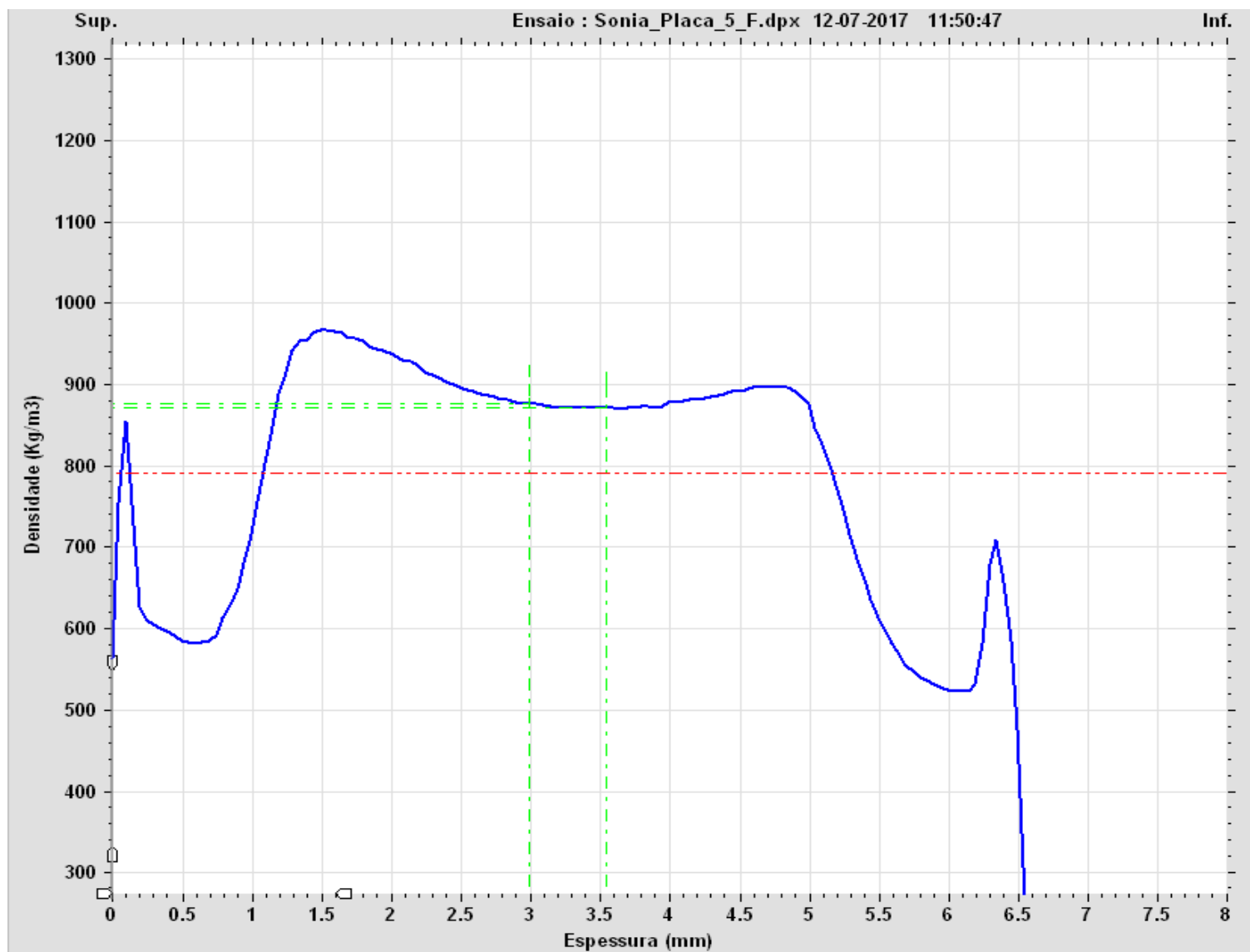


Figura E. 30- Perfil de densidade do provete F, da placa 5.

As Figuras E.31 a E.36, representam os perfis de densidade dos provetes A a F, respetivamente, obtidos para a Placa 6.

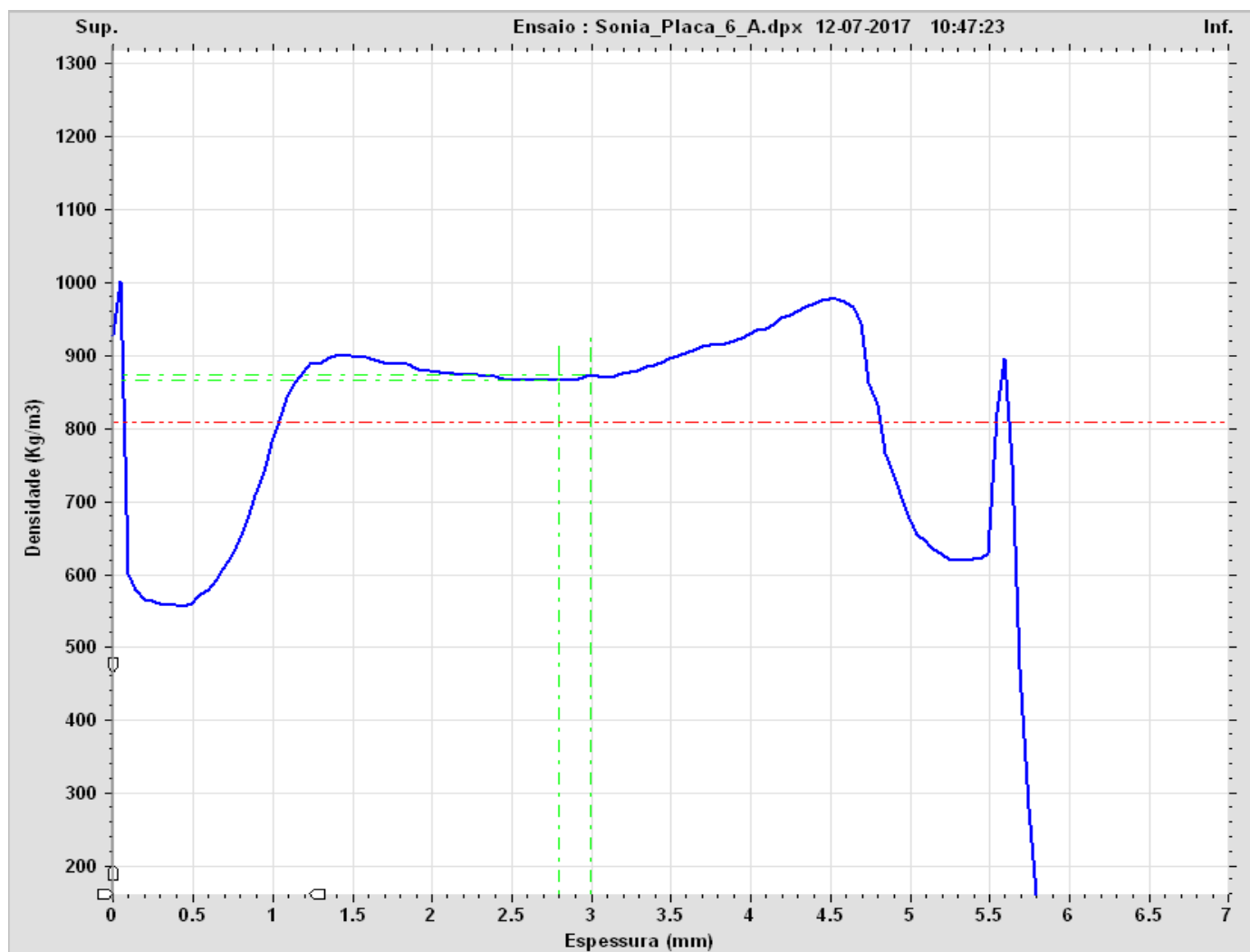


Figura E. 31 - Perfil de densidade do provete A, da placa 6.

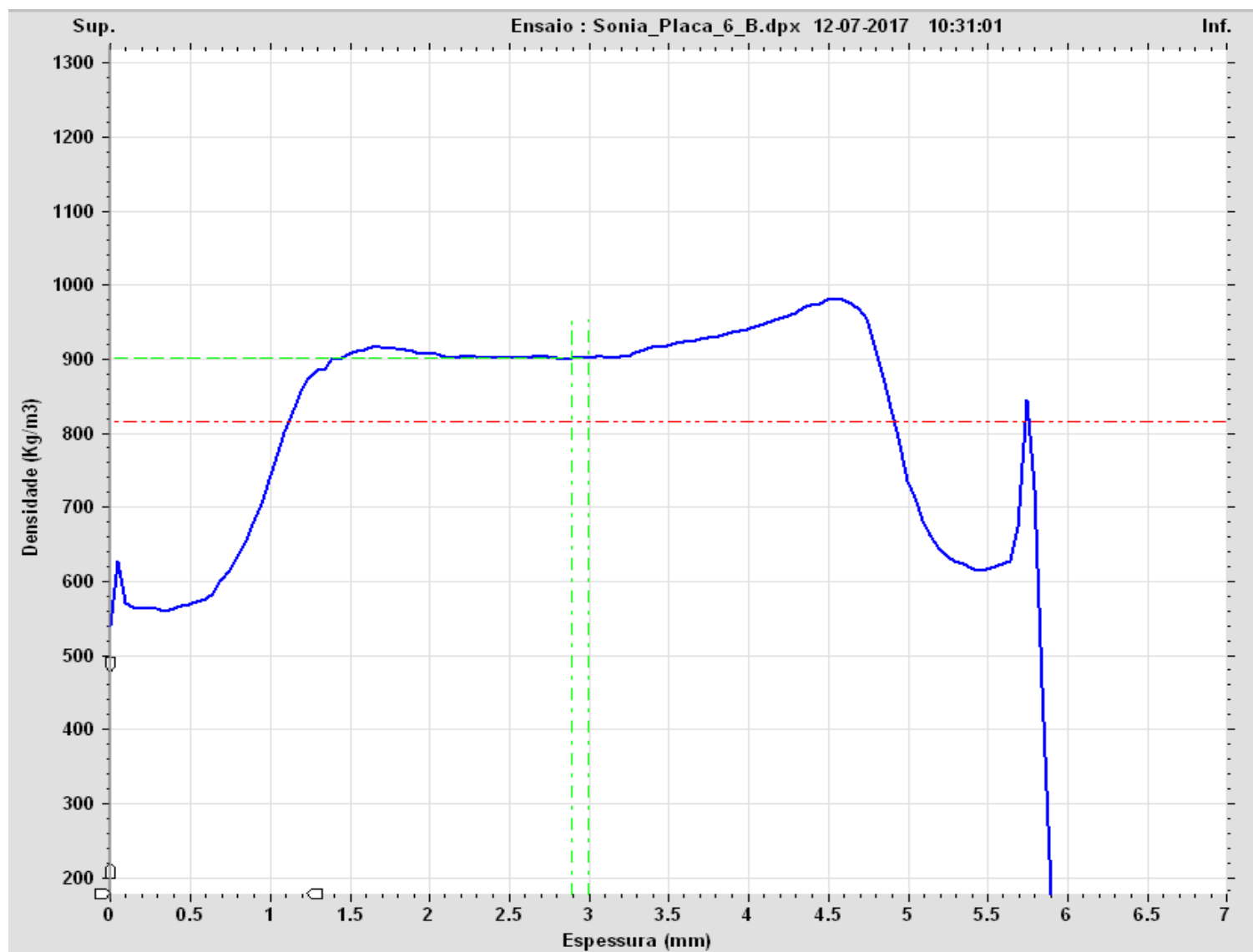


Figura E. 32 - Perfil de densidade do provete B, da placa 6.

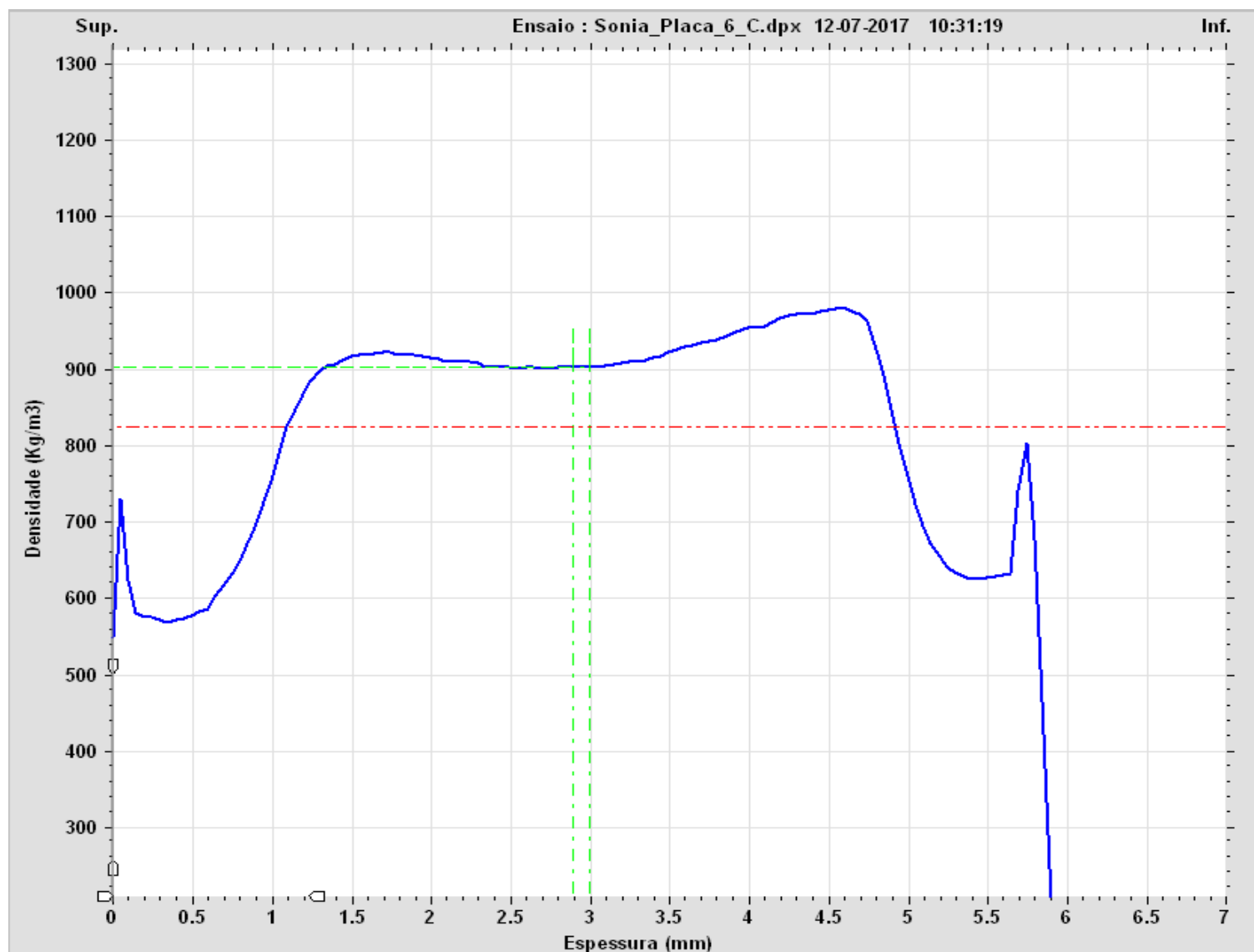


Figura E. 33 - Perfil de densidade do provete C, da placa 6.

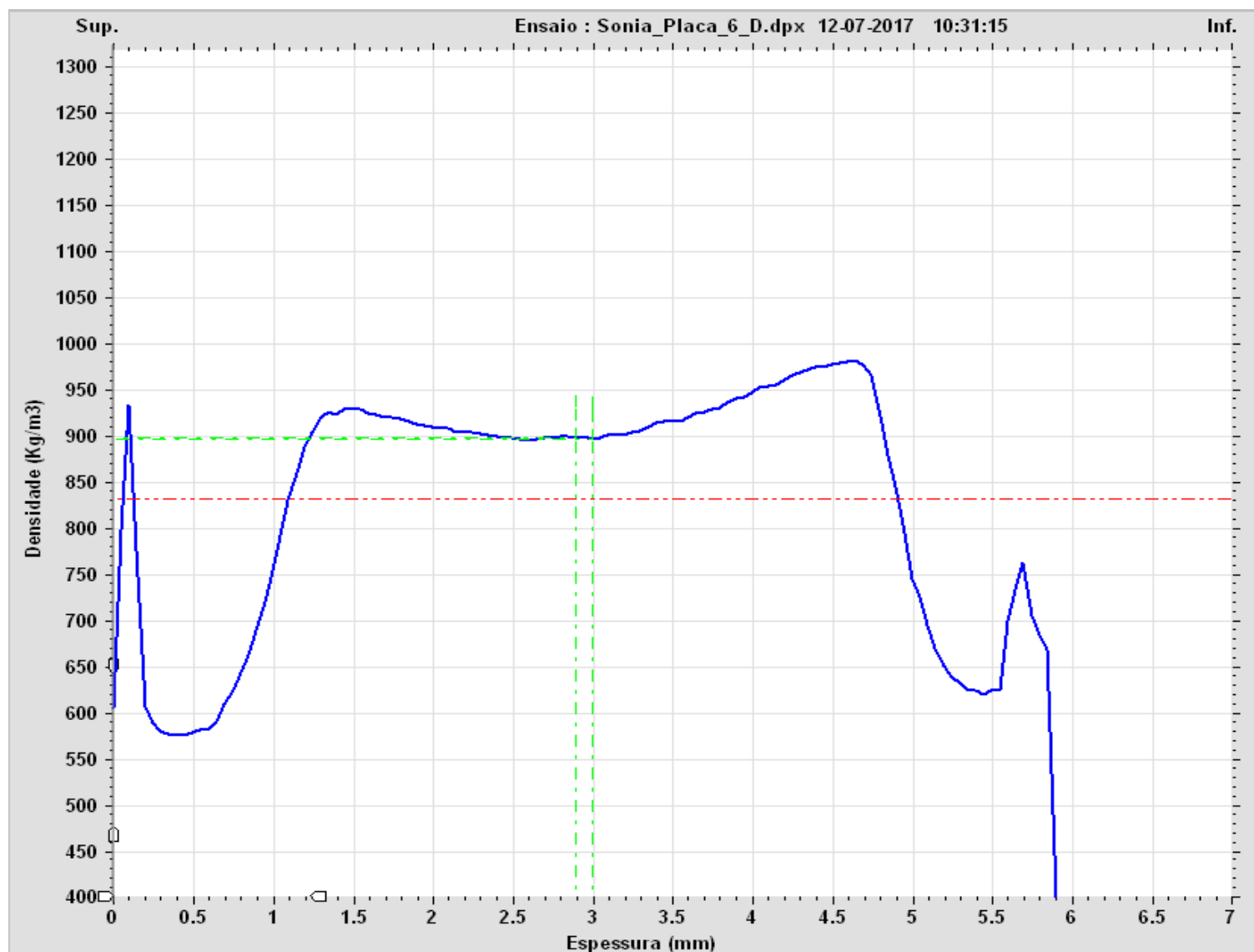


Figura E. 34 - Perfil de densidade do provete D, da placa 6.

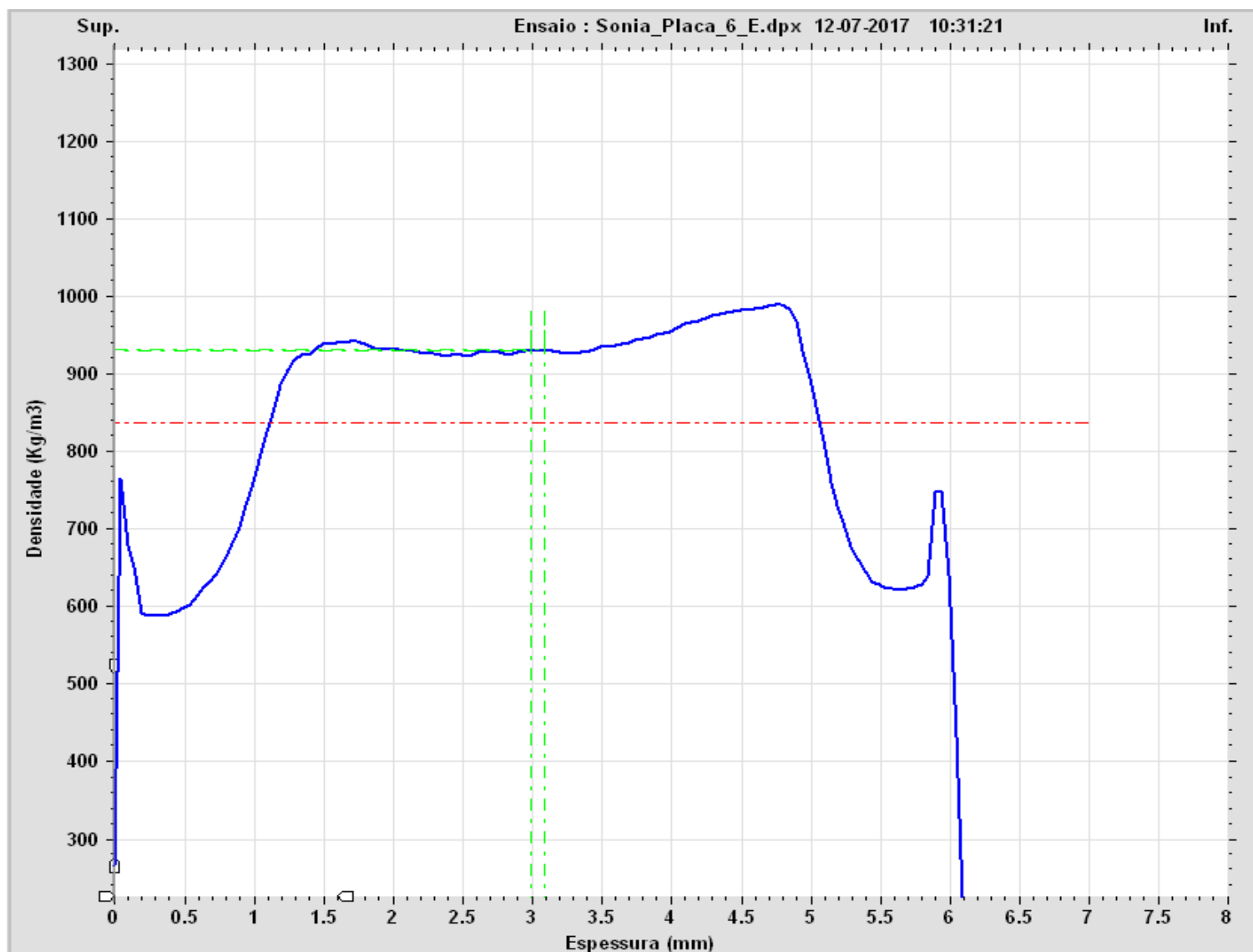


Figura E. 35 - Perfil de densidade do provete E, da placa 6.

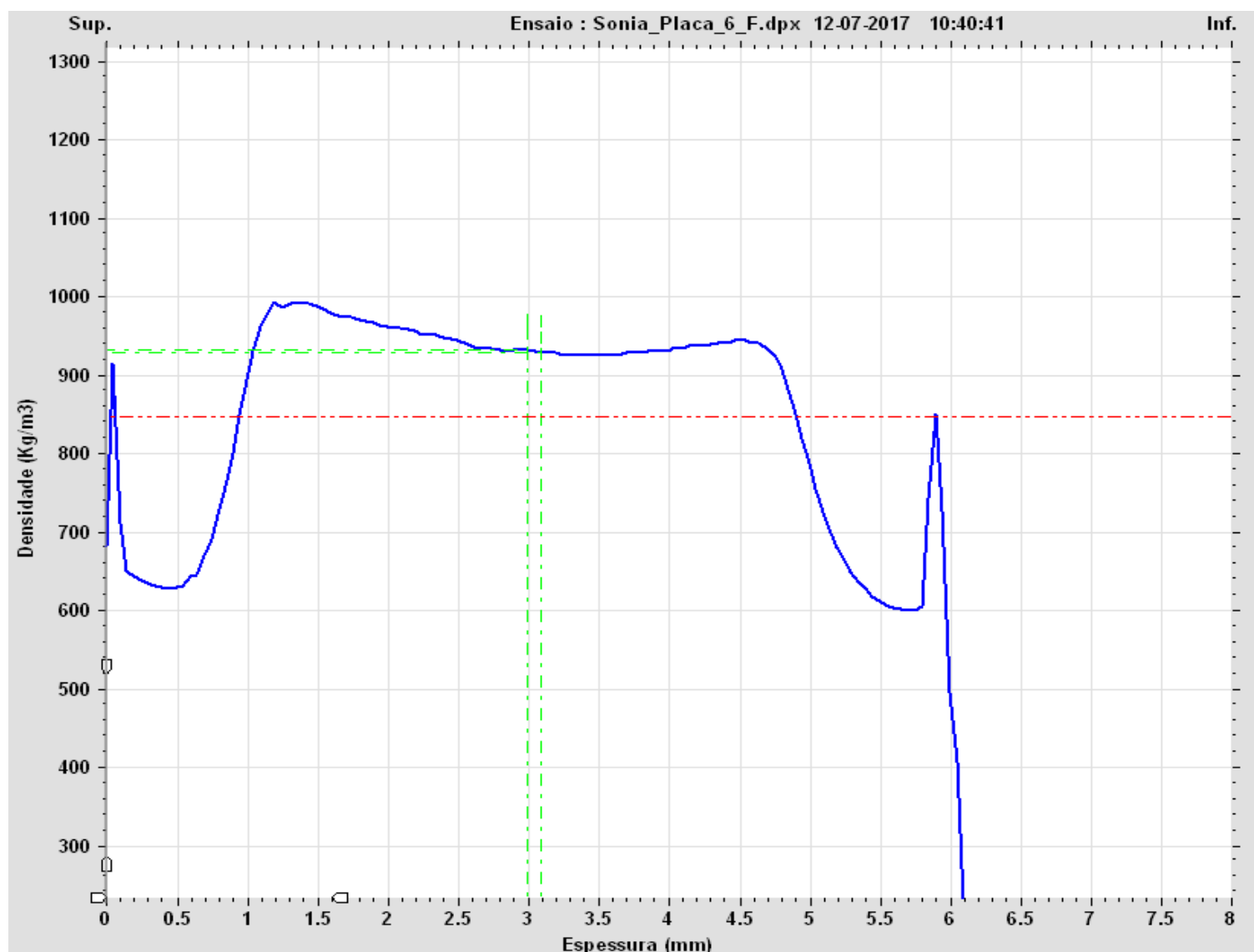


Figura E. 36 - Perfil de densidade do provete F, da placa 6.

As Figuras E.37 a E.42, representam os perfis de densidade dos provetes A a F, respetivamente, obtidos para a Placa 7.

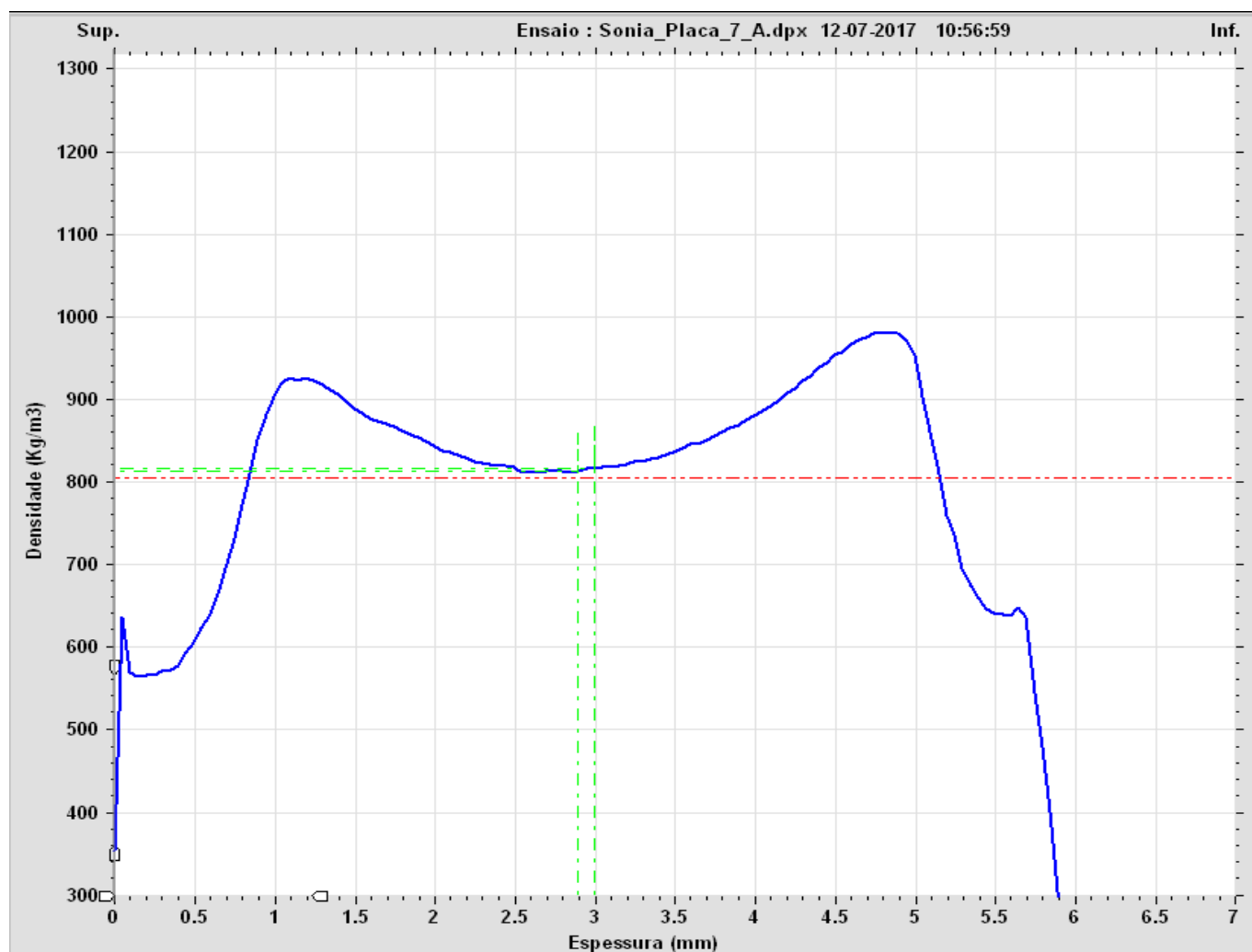


Figura E. 37 - Perfil de densidade do provete A, da placa 7.

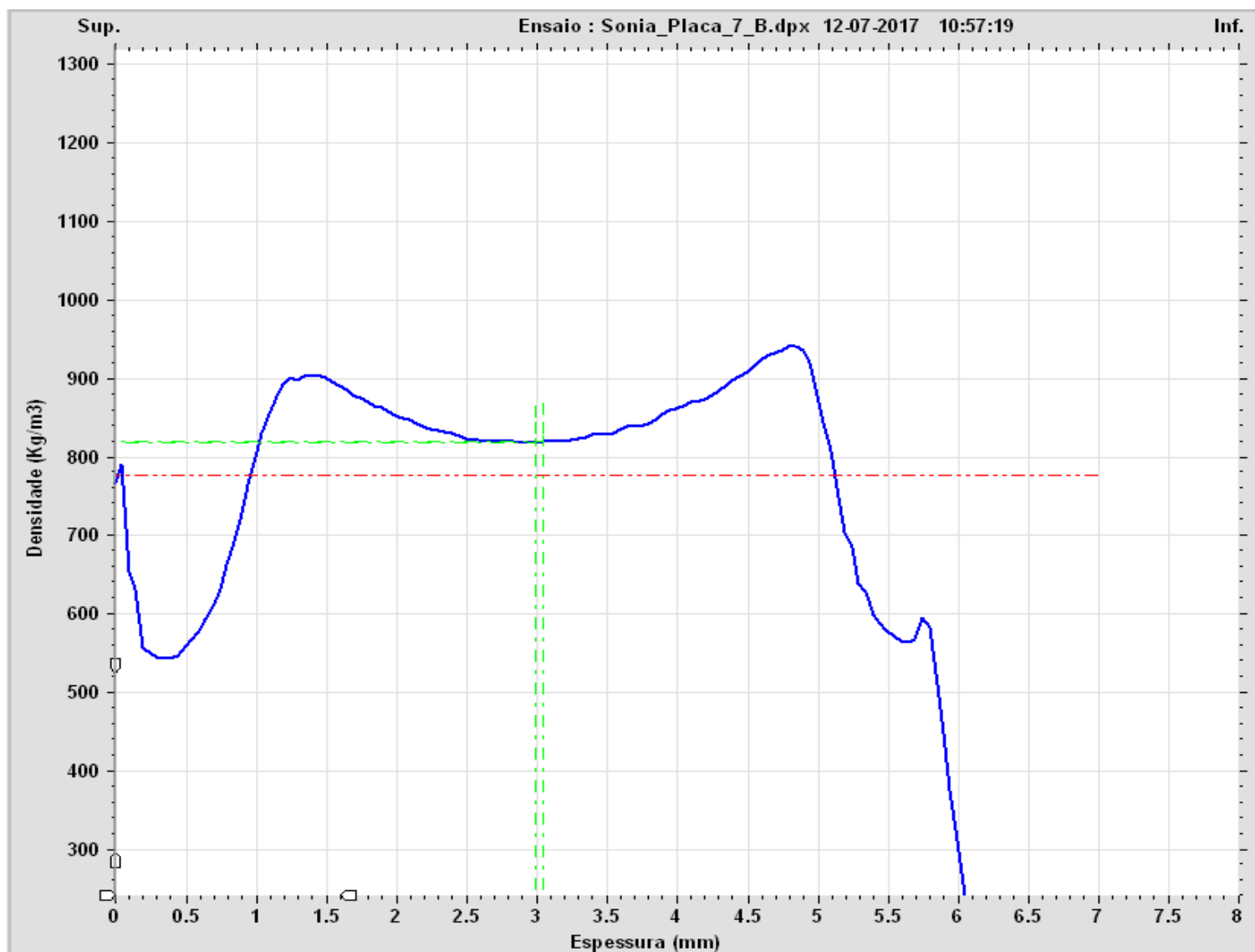


Figura E. 38 - Perfil de densidade do provete B, da placa 7.

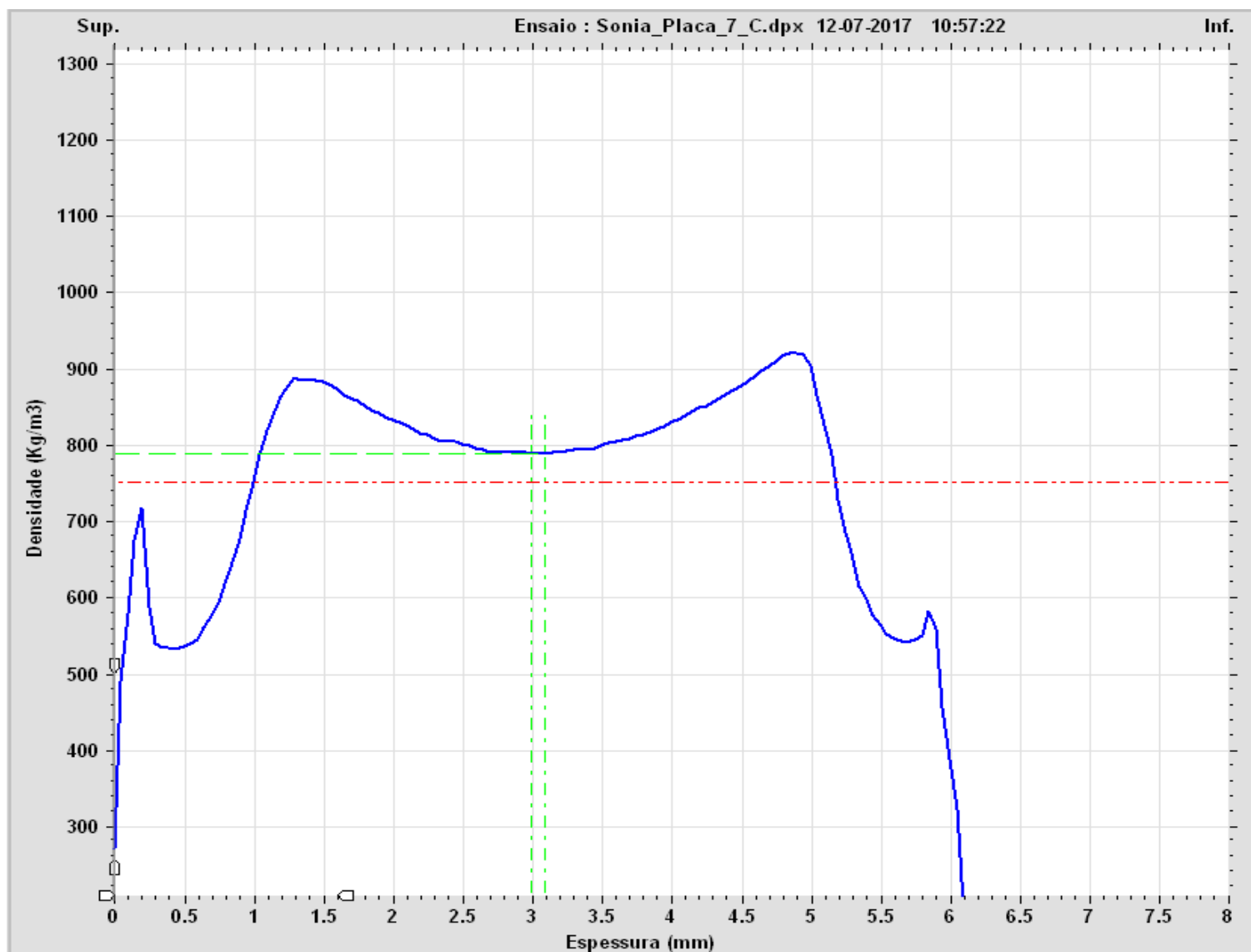


Figura E. 39 - Perfil de densidade do provete C, da placa 7.

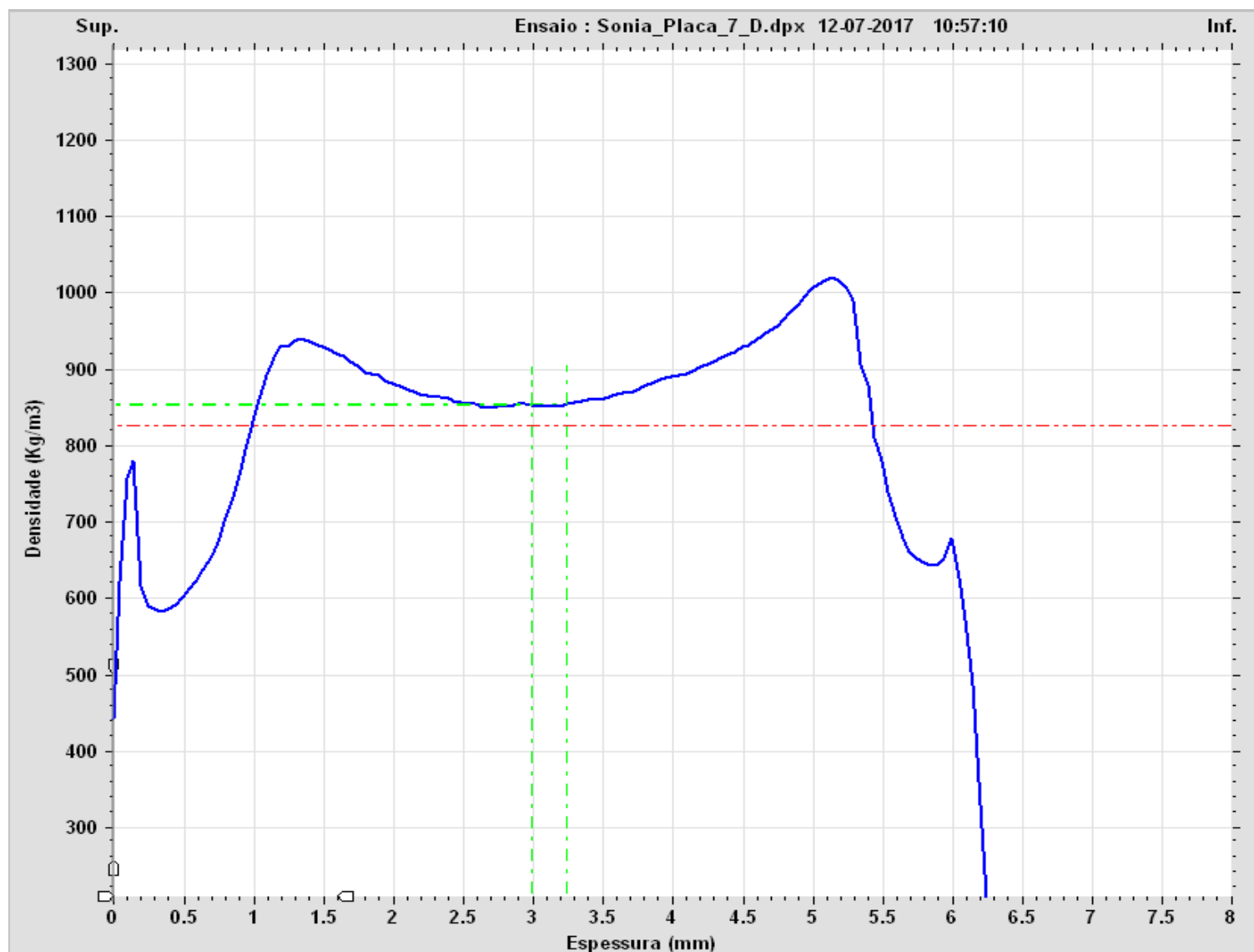


Figura E. 40 - Perfil de densidade do provete D, da placa 7.

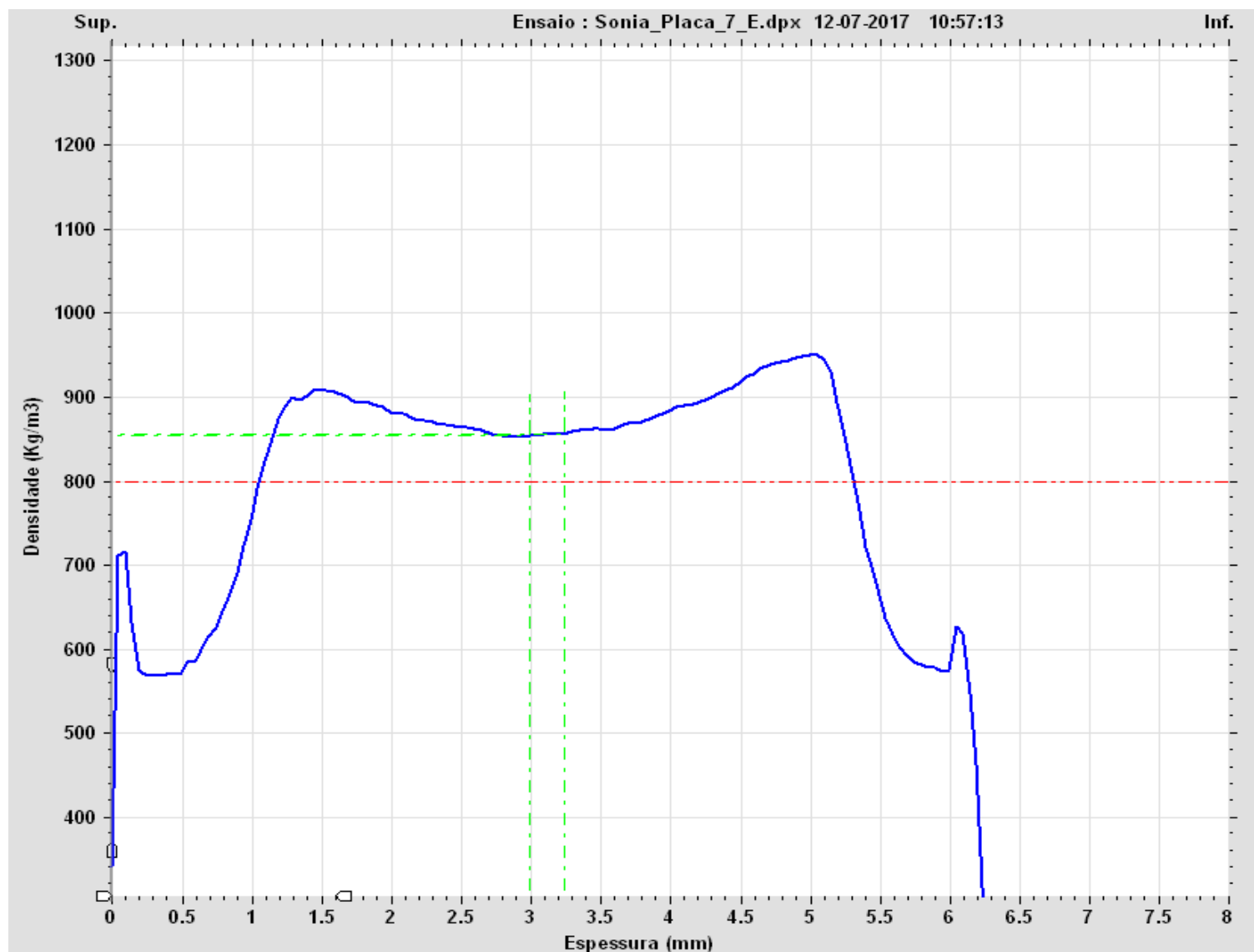


Figura E. 41 - Perfil de densidade do provete E, da placa 7.

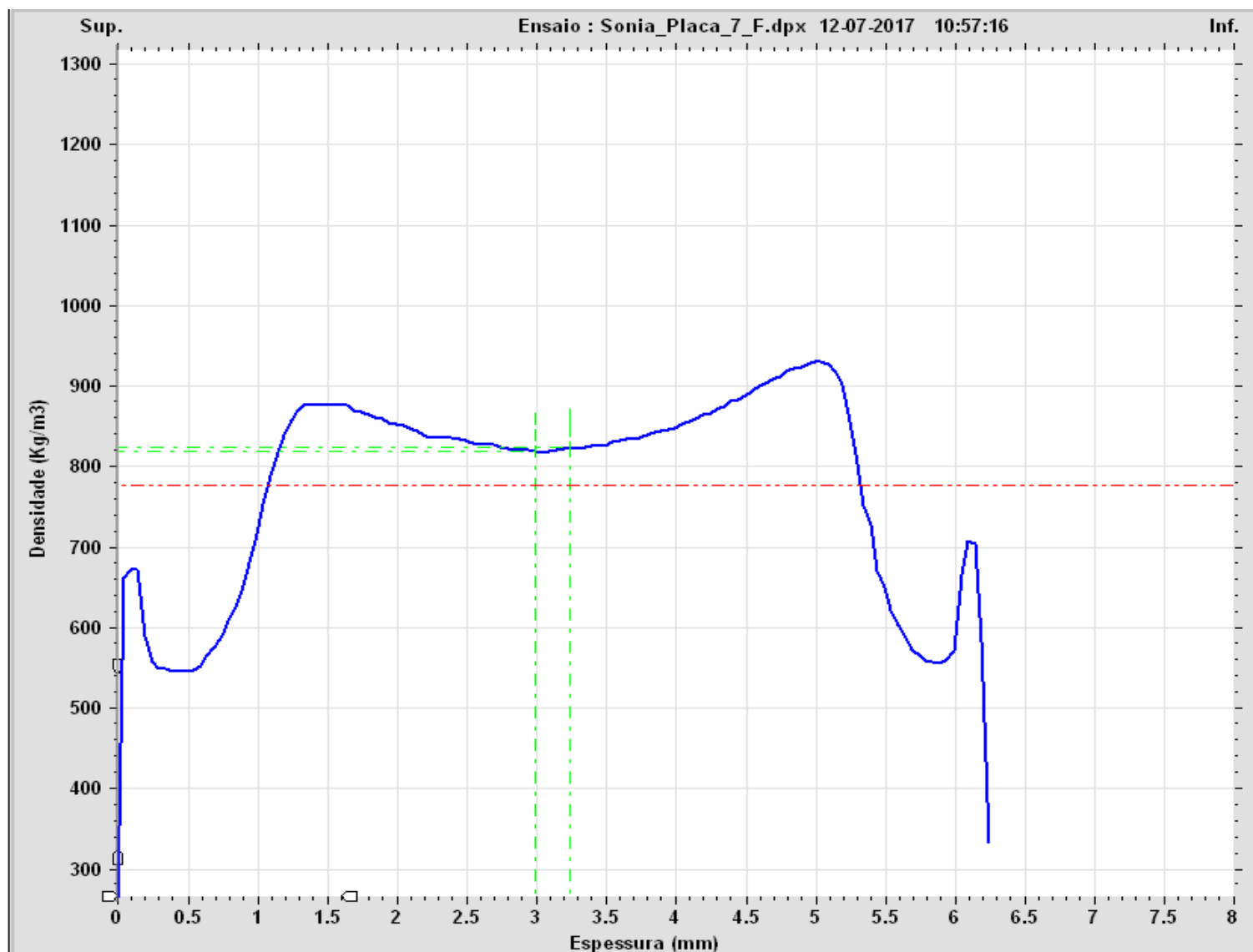


Figura E. 42 - Perfil de densidade do provete F, da placa 7.