

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Joana Miranda Matos

Fabrico e projeto de um permeabilímetro para a determinação da permeabilidade de reforços para materiais compósitos



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Joana Miranda Matos

Fabrico e projeto de um permeabilímetro
para a determinação da permeabilidade de
reforços para materiais compósitos

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do
Doutor João Pedro Nunes
Engenheiro Luís Oliveira

Outubro de 2014

DECLARAÇÃO

Nome: Joana Miranda Matos

Endereço eletrónico: joanammatos86@gmail.com

Título dissertação: Fabrico e projeto de um permeabilímetro para a determinação da permeabilidade de reforços para materiais compósitos

Orientador (es): Professor Doutor João Pedro Nunes
Engenheiro Luís Oliveira

Ano de conclusão: 2014

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

“A felicidade não se resume na ausência de problemas, mas sim na sua capacidade de lidar com eles”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Para que este trabalho se realiza-se obtive a colaboração de algumas pessoas às quais quero agradecer em particular, pois sem elas este projeto não teria sido realizado.

Em primeiro lugar quero agradecer ao Doutor João Pedro Lourenço Gil Nunes, meu orientador, pela oportunidade que me ofereceu, pelo apoio, esclarecimento de dúvidas, disponibilidade e paciência que teve para comigo.

Ao meu coorientador Engenheiro Luís Oliveira, pela disponibilidade, paciência, dedicação, companheirismo e ajuda que sempre dispensou.

Um muito obrigada à instituição PIEP, por me acolherem e por me darem esta oportunidade de realizar a minha dissertação na vossa casa.

Obrigada ao Engenheiro Bruno Barros e ao técnico Rafael, colaboradores do PIEP, que estiveram sempre presentes na elaboração do equipamento.

Um agradecimento muito especial aos meus pais que me compreenderam, apoiaram e estiveram sempre do meu lado durante esta dissertação.

Um obrigada especial ao Bruno, por estar sempre presente e compreender os momentos que passei na elaboração desta dissertação.

Um agradecimento às minhas colegas e amigas, Judite, Catarina Marta, Diana e Rui pelo apoio e suporte que me deram.

A todos um muito obrigada.

Projeto e fabrico de um permeabilímetro para a determinação da permeabilidade de reforços para materiais compósitos

RESUMO

A utilização de materiais compósitos tem despertado um grande interesse nos mais diversos sectores da indústria e a sua utilização traz novos desafios tecnológicos e científicos. Combinar e impregnar reforços com uma matriz encontra-se bastante dependente do desenvolvimento de novos processos de transformação e da adaptação dos equipamentos. Um dos maiores problemas encontrados na produção de compósitos é a difícil e complexa tarefa de impregnação de reforços.

Como o estudo, compreensão e previsão destes problemas está muito dependente da permeabilidade dos reforços, este projeto teve por objetivo desenvolver um equipamento capaz de simular um processo de impregnação bidimensional (no plano) de reforços de fibras usadas em materiais compósitos e de determinar a respetiva permeabilidade.

Numa primeira fase, projetou-se um permeabilímetro usando um software CAD e, após cuidadosa definição e aquisição dos respetivos componentes, procedeu-se ao seu fabrico. Numa segunda fase, efetuou-se a validação do permeabilímetro e a determinação da permeabilidade com recurso à lei de Darcy.

Para validação do equipamento verificou-se a concordância entre valores teóricos previamente calculados e os experimentalmente obtidos.

Estudou-se a variação da configuração, gramagem, orientação e fração volúmica das fibras na permeabilidade. Verificou-se que, para gramagens idênticas e mesma orientação (0°), a permeabilidade é mais elevada para fibras unidirecionais do que com configuração *Plain*.

Variando a orientação das fibras, verificou-se acontecer uma diminuição da permeabilidade da orientação de 0° para 45° , no caso da configuração *Plain*, e de 0° para 90° no caso da configuração Unidirecional.

Comparou-se a utilização de gramagens entre os 200g/m^2 e os 640g/m^2 tendo-se verificado a diminuição de permeabilidade com o aumento da gramagem do reforço.

Por fim, variando a fração volúmica das fibras observou-se uma diminuição da permeabilidade com o seu aumento.

The interest in using composite materials is growing considerably in various sectors of the industry as their use brings new technological and scientific challenges. Combining and impregnating reinforcements with matrices is quite dependent from the development of new processing techniques and adjustment of equipment. One of the biggest problems found in the composites production is the difficult and complex task of impregnating reinforcements.

As to study, comprehend and previse such problems is quite dependent from reinforcement permeability, this project aimed to develop a device able to simulate the planar (bi-dimensional) impregnating process and determine the permeability of fibre reinforcements used in composites.

In a first stage, a permeabilimeter was designed by using a CAD software and, after a careful selection and acquisition of components the equipment has been built.

Then, in a second stage, the permeabilimeter was validated and used to determine the permeability using the Darcy's law.

To validate the developed instrument the agreement between previously theoretical calculated vales and experimentally obtained ones has been verified.

The effect of the variation of configuration, weight per unit area, orientation and the volumetric fraction of fibers on permeability was studied.

It was verified that unidirectional fabrics presented greater permeability than plain fabrics at the same weight and orientation (0°).

By varying fiber orientation, results had shown that permeability decreased when the orientation was changed from 0° to 45° in plain fabrics and from 0° to 90° in unidirectional fabrics.

By comparing the use of fabrics of different weights, respectively, 200g/m^2 and 640g/m^2 , it was found that their permeability decreased with weight increasing.

Finally, by varying the fiber volume content it was observed that the permeability decreased when the fiber fraction increased.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE TABELAS	17
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização da dissertação de Mestrado	3
CAPÍTULO 2	5
ESTADO DE ARTE.....	5
2.1. Permeabilidade.....	5
2.2. Permeabilímetros nas indústrias.....	7
2.3. Compósitos.....	11
2.3.1. Matriz.....	12
2.3.2. Reforço	13
2.3.3. Fibra de Vidro.....	14
2.4. Permeabilidade do reforço	15
2.5. Propagação dos erros.....	17
CAPÍTULO 3	21
PERMEABILÍMETRO	21
3.1. Conceito	21
3.2. Desenvolvimento do permeabilímetro	21
3.3. Guia de utilização.....	30
3.3.1. Ajuste das placas.....	30
3.3.2. Procedimento de um ensaio de permeabilidade.....	30
3.4. Validação	33
3.5. Canal de fluxo rápido	40
3.6. Erro na medição do permeabilímetro	42
CAPÍTULO 4	45
DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE	45

4.1. Seleção do material de reforço.....	45
4.2. Determinação da permeabilidade.....	45
4.3. Determinação da influência do canal de fluxo rápido na permeabilidade.....	55
4.4. Determinação do erro de medição do permeabilímetro	56
CAPÍTULO 5	59
CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA	59
TRABALHOS FUTUROS	59
5.1. Conclusões	59
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	61
CAPÍTULO 6	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO I.....	67
ANEXO II	77
ANEXO III.....	83
ANEXO IV	87
ANEXO V	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Permeabilímetro FX33000.....	8
Figura 2 - Esquema de um permeabilímetro utilizado na determinação da permeabilidade de um geotêxtil.	9
Figura 3 - Permeabilímetro CLS.	10
Figura 4 - PERME TSY-W1 Medidor de Permeabilidade de Vapor de Água com método da humidade.....	11
Figura 5 - Esquema da constituição de um compósito.	12
Figura 6 - Representação de alguns tipos de configurações tecidos usados em compósitos...	16
Figura 7 - Defeitos gerados ao impregnar a fibra. Imagem 1) insuficiência na impregnação. Imagem 2,3,e 4) Bolhas de ar.	17
Figura 8 - Imagem do permeabilímetro elaborada no SolidWorks.	22
Figura 9 - Montagem dos pés de suporte da placa de aço e do esticador.	22
Figura 10 - Fixação dos fusos axiais de esferas à placa de aço e incorporação do veio. Montagem da polia e da correia.....	23
Figura 11 - Resultado final da montagem dos fusos axiais de esferas, veios, polias e correia.	23
Figura 12 - Manípulo roscado no veio sobre a placa de acrílico.	24
Figura 13 - Rolamento axial de esferas.	24
Figura 14 - Pormenor da saída do fluído e do sensor de pressão fixado na placa de acrílico.	25
Figura 15 - Espuma EPDM de célula fechada 500x500.....	25
Figura 16 - Comparador portátil Mitutoyo modelo Absoluto 543-464B.	26
Figura 17 - Regulador de pressão ARP3000.	26
Figura 18 - Diferencial de pressão EXTECH, modelo HD750, capaz de medir valores de pressão até 5psi.	27
Figura 19 - Recolha do fluído num recipiente colocado numa balança.....	27
Figura 20 - Balança Denver Instrument, modelo SI- 4002.....	28
Figura 21 - Viscosímetro Selecta, modelo STS-2011 L.	29
Figura 22 – Permeabilímetro desenvolvido.....	29
Figura 23 – Posição das placas.	31
Figura 24 – Fibras entre a espuma sobre a placa de aço.....	32
Figura 25 – Ausência do canal lateral de fluxo rápido.	32
Figura 26 – Válvula do tanque de glicerina.....	33
Figura 27 - 1) Molde para a produção do bloco de silicone. 2) Deposição da borracha de silicone no molde. 3) Bloco de silicone.	35

Figura 28 - Gráfico pressão e função do tempo do ensaio de validação.	36
Figura 29 - Esquema do ensaio de permeabilidade.	37
Figura 30 - Gráfico pressão em função do tempo.	39
Figura 31 - Gráfico pressão em função do tempo no intervalo entre 6000 e 13000s.	39
Figura 32 - Gráfico da massa em função do tempo no intervalo entre 6000 e 13000s.....	40
Figura 33 - Esquema do fluxo rápido pelos canais laterais.	41
Figura 34 – Gráfico típico da pressão em função do tempo decorrido durante um ensaio.....	48
Figura 35 – Gráfico pressão em função do tempo no intervalo entre 10000 a 15000s.	49
Figura 36 - Gráfico típico da massa em função do tempo decorrido durante um ensaio.	50
Figura 37 - Gráfico massa em função do tempo no intervalo entre 10000 a 15000s.	50
Figura 38 - Frente de fluxo durante de um ensaio.....	51
Figura 39 - Variação da permeabilidade em função da orientação das fibras a 0° e 45°.	52
Figura 40 - Variação da permeabilidade em função da fração volúmica de fibras.	53
Figura 41 – Gráfico da variação da permeabilidade em função da orientação as fibras.	54
Figura 42 - Gráfico da variação da permeabilidade em função da orientação das fibras.	54
Figura 43 - Frente de fluxo no final do ensaio de um reforço com configuração plain 205g/m ² e 45% de fração volúmica de fibra.	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores das propriedades de algumas fibras.	14
Tabela 2 - Valores de erros de medida dos equipamentos e resultados obtidos num ensaio realizado.....	43
Tabela 3 - Lista das fibras utilizadas nos ensaios de permeabilidade.....	45
Tabela 4 - Variação da orientação e fração volúmica de fibra.	46
Tabela 5 - Variação da orientação e fração volúmica de fibra.	46
Tabela 6 - Variação da orientação e fração volúmica de fibra.	46
Tabela 7 - Variação da orientação e fração volúmica de fibra.	47
Tabela 8 - Espessura e área de secção transversal do laminado para cada condição.....	48
Tabela 9 - Resultado da permeabilidade em cada condição.	52
Tabela 10 - Dimensões atribuídas à largura do canal, valores do caudal volumétrico no canal, permeabilidade obtida pela influência do caudal no canal lateral, valor de permeabilidade de um ensaio escolhido aleatoriamente e erro relativo ao resultados de permeabilidade.....	55
Tabela 11 - Valores do erro relativo a cada ensaio.....	57

1.1. Enquadramento

A utilização de materiais compósitos com reforços contínuos tem crescido nas últimas décadas nos mais diversos sectores da indústria. Compósitos reforçados com fibras de vidro, carbono e de outros tipos, proporcionam excelentes propriedades térmicas e mecânicas, como por exemplo, maior resistência ao impacto, elevada estabilidade dimensional e maior rigidez específica [1].

Atualmente, existe uma variedade de métodos de processamento disponíveis para fabricar compósitos de matriz polimérica, dentre dos quais o Resin Transfer Molding, RTM, e o processo por infusão a vácuo são dos mais solicitados.

O processo de infusão por vácuo é um dos processos que tem sido muito atrativo no fabrico de componentes de grandes dimensões em material compósito, como por exemplo pás eólicas e cascos de barcos. Neste processo, o reforço é posicionado no molde em vácuo através de um saco de vácuo, sendo o reforço posteriormente impregnado por resina que é injetada de forma estratégica. O saco de vácuo permite reduzir a quantidade de produtos voláteis durante a cura, promovendo um ambiente de trabalho mais limpo a um custo reduzido.

O processo por RTM é adotado para compósitos com geometrias complexas, uma vez que recorre a um molde fechado promovendo desta forma um elevado acabamento superficial.

Neste método, também pode ser aplicado vácuo para facilitar a progressão da resina ao longo do laminado e tem a vantagem em se obter um laminado com um elevado teor de fibra e com poucas imperfeições. Este processo tem sido amplamente usado na indústria automóvel, aeroespacial, civil e em materiais desportivos.

A resina poliéster insaturada é a mais utilizada no processo de RTM em diversas aplicações, pois possui baixa viscosidade, cura rápida e oferece boas propriedades mecânicas aos compósitos [2, 3].

A impregnação da resina torna-se mais dificultada no caso de componentes de grandes dimensões, pois o seu percurso é longo e a velocidade de fluxo cai para um menor valor,

tornando esta etapa muito demorada. Acoplada a esta demora, podem por vezes surgir zonas secas, ou mesmo o aumento de viscosidade da resina, sem que o componente esteja completamente infundido devido ao tempo de cura desta, que é crítico e pode levar á rejeição de um componente. Este problema, também pode estar associado a fatores, como viscosidade da resina e permeabilidade do reforço.

Apesar dos processos referidos apresentarem um número limitado de imperfeições dependendo do tipo de peça, da viscosidade do fluido e da permeabilidade do reforço, recorre-se ao uso de um equipamento que auxilie o seu estudo de forma a minimizá-las. O equipamento desenvolvido para esse estudo denomina-se por permeabilímetro e tem por objetivo simular um processo de impregnação de resina num reforço para posteriormente ser avaliada a permeabilidade do mesmo.

O princípio de funcionamento deste equipamento assemelha-se ao permeabilímetro CLS e aos já utilizados permeabilímetros pelas indústrias têxtil e construção civil que têm vindo a desenvolver o seu próprio método de ensaio da permeabilidade. Permeabilímetros ao ar, à água, ao vapor de água e ao dióxido de carbono foram desenvolvidos para medir a permeabilidade na direção perpendicular ao plano. Contudo, o permeabilímetro CLS mede a permeabilidade no plano e é com base nesse, que será sugerido um novo equipamento apresentando numerosas modificações e melhorias [2].

A permeabilidade avalia a resistência ao fluxo do fluido no reforço, contudo existem vários factores que a determinam, pode-se citar a compactação do reforço, a configuração do reforço, número de camadas, fração volúmica de fibras, gramagem e viscosidade do fluido. Neste contexto, este trabalho propõe a construção de um permeabilímetro avaliando, posteriormente, a permeabilidade no plano em reforços. Esta, será determinada recorrendo à equação da lei de Darcy, que descreve o fluxo de um fluido em um meio poroso [3].

1.2. Objetivos

O presente trabalho, tem como objetivo o projetar e fabricar um permeabilímetro para determinar a permeabilidade de reforços no plano.

Numa primeira fase projetou-se o permeabilímetro recorrendo a ferramentas computacionais. A sua construção fez-se de seguida, seguindo uma ordem de montagem de acordo com os componentes selecionados.

Logo que concluída a construção, procedeu-se à validação do equipamento e determinação da permeabilidade em diferentes tipos de reforço. Deste modo, seguiu-se a seguinte ordem de procedimentos:

- Validação do equipamento;
- Seleção do material de reforço;
- Determinação da permeabilidade;
- Determinação da influência do fluido na zona de fluxo rápido;
- Determinação do erro de medição do permeabilímetro.

1.3. Organização da dissertação de Mestrado

Esta dissertação de mestrado está organizada em seis capítulos. No presente capítulo é apresentado o enquadramento, seguido dos objetivos e da organização da dissertação.

No capítulo 2, é apresentado o estado de arte, onde é referida a pesquisa bibliográfica relativamente a sistemas já utilizados e uma abordagem geral sobre a permeabilidade nos compósitos.

No capítulo 3, é descrito o processo de construção do permeabilímetro apresentando em detalhe os equipamentos utilizados. De seguida é apresentado um guia de utilização do permeabilímetro, com os procedimentos a efetuar antes de realizar um ensaio, bem como o seu próprio procedimento. Também é apresentado a influencia do canal de fluxo rápido e o erro de medição do permeabilímetro.

No capítulo 4, é apresentada a seleção do material de reforço, a determinação da permeabilidade e todo o processo inerente à sua determinação.

No capítulo 5, é apresentada a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros.

No capítulo 6 são apresentadas, as referências bibliográficas usadas na pesquisa do projeto.

CAPÍTULO 2

ESTADO DE ARTE

2.1. Permeabilidade

A permeabilidade é uma medida macroscópica que indica a maior ou menor facilidade com que um fluido submetido a um gradiente de pressão, percorre os vazios de um meio poroso [4].

Processos como o RTM e infusão a vácuo, estão a receber cada vez mais atenção por parte dos fabricantes de grandes estruturas de plásticos reforçados com fibra.

Geralmente, tem sido adotado o processo de RTM, pois este é realizado num molde fechado, permitindo produzir estruturas complexas com um excelente acabamento superficial, diminuindo consideravelmente a da emissão de gases voláteis. Contudo, este processo não é adequado para peças de grandes dimensões devido a um aumento considerável dos custos, sendo este um fator bastante relevante para a indústria dos compósitos. Deste modo, existiu a necessidade em criar outras alternativas, onde surgiu com maior relevância a técnica a técnica de infusão a vácuo.

Esta técnica utiliza um molde fêmea sólido e um saco, designado de saco de vácuo, promovendo também uma forte redução dos gases voláteis devido ao vácuo realizado e consequentemente, uma significativa redução dos custos [2]

Contudo, para que estes processos sejam cada vez mais precisos é necessário otimizá-los.

Valores de permeabilidade precisos são extremamente importantes para a otimização e projeto dos processos de fabrico.

Geralmente a determinação da permeabilidade é efetuada por ensaio. No caso da permeabilidade no plano, usam-se dois tipos de métodos experimentais: método de fluxo unidirecional e método de fluxo radial.

No método de fluxo unidirecional, a permeabilidade é medida numa direção especificada usando os métodos habitualmente designados por de fluxo saturado e insaturado.

No método unidirecional saturado, as experiências são realizadas forçando o líquido a fluir através de toda a cavidade, onde o reforço foi previamente colocado e comprimido, medindo a relação de estado estacionário entre o fluxo e a queda de pressão ao longo do comprimento desta. Deste modo, é possível criar uma relação linear entre o fluxo de estado estacionário e a queda de pressão.

No método unidirecional insaturado, o líquido flui através das fibras secas, substituindo o ar presente no material [5] [6].

No entanto, estes dois métodos requerem pelo menos duas medições para caracterizar completamente a permeabilidade no plano, uma em cada direção [5] [6].

O método de fluxo radial só pode ser utilizado em fluxo insaturado. Este, consiste na injeção de fluido a partir de um orifício criado no centro do molde fluindo através do reforço. Permitindo, assim, a medição da forma da frente de fluxo durante a impregnação do fluido e o perfil de pressão em estado estacionário, depois da amostra estar completamente impregnada. O fluxo de injeção constante ou a pressão de injeção constante, são usadas como as condições de injeção.

Contudo, o método utilizado neste projeto será o ensaio unidirecional saturado, pois permite uma relação linear entre o fluxo e o gradiente de pressão [5] [6].

Alguns modelos matemáticos foram construídos para calcular a permeabilidade do reforço. O modelo de permeabilidade mais conhecido é a equação de Kozeny-Carmen. No entanto, este modelo é isotrópico enquanto a permeabilidade da grande maioria dos reforços é fortemente anisotrópica [5] [6].

O método unidirecional foi desenvolvido por Henry Darcy, em 1856, com base nos resultados experimentais sobre o fluxo de água através de leitos de areia, em que o escoamento volumétrico mostrou ser proporcional à queda de pressão e inversamente proporcional ao comprimento do laminado [7].

A lei de Darcy é uma equação que descreve o fluxo de um fluido num meio poroso e tem sido aplicada para calcular a permeabilidade no plano. Na sua forma geral, pode ser descrita como [6]:

$$K = \frac{\eta \Delta m}{A \Delta t} \frac{1}{\rho \Delta P} \Delta x \quad (1)$$

Onde,

η : Viscosidade do fluido (Pa.s)

A: Área de secção transversal ao molde (m²)

Δm : Variação da massa (kg)

Δt : Variação do tempo (s)

Δx : Variação da distância entre os sensores de pressão (m)

ρ : Densidade aparente do fluido (kg/m³)

ΔP : Diferença de pressão (Pa)

K: Permeabilidade aparente (m²)

.

A taxa de fluxo dum fluido através de um meio poroso é determinada por vários factores, tais como, a queda de pressão que atravessa a amostra, a área da secção do molde, o caudal volumétrico e a sua viscosidade.

3.2. Permeabilímetros nas indústrias

Ao longo dos anos, a indústria têxtil e a construção civil têm desenvolvido e aprimorado os seus próprios métodos de ensaio da permeabilidade.

Na indústria têxtil, o permeabilímetro é usado para medir a permeabilidade de tecidos, a permeabilidade perpendicular ao plano do tecido ao ar e à água [8].

Este equipamento é utilizado para determinar de uma forma rápida, simples e precisa a permeabilidade em toda a classe de materiais planos, como em tecidos para airbag, papel, couro e tecidos para vestuário. Devido à forma como os tecidos são constituídos, uma grande parte do volume ocupado pelo tecido é ar, influenciando deste modo, algumas propriedades, tais como, o isolamento térmico, a proteção contra o vento e à chuva no vestuário e também na filtração em tecidos industriais.

Um exemplo da influência de ar no tecido é visível no caso dos sacos dos aspiradores, pois estes têm como objetivo reter a sujidade e deixar passar o ar [8] [9].

A Figura 1 ilustra um permeabilímetro ao ar.



Figura 1 - Permeabilímetro FX33000 [10].

A norma internacional ISO 9237:1996, descreve um método para a determinação da permeabilidade ao ar dos tecidos e aplica-se à maioria destes, incluindo os tecidos industriais destinados a usos técnicos e artigos têxteis que são permeáveis ao ar.

O caudal do fluxo de ar é medido através do ar que passa perpendicularmente à superfície de uma amostra de tecido, com uma diferença de pressão definida e durante um determinado período de tempo [11].

A permeabilidade à água segue a norma internacional ISO 811:1981 e consiste num método de ensaio de baixa pressão hidrostática. Esta, determina a resistência dos tecidos à penetração da água e destina-se principalmente para ensaio em lonas e telas.

A pressão hidrostática suportada por um tecido proporciona uma medida de resistência à passagem de água no mesmo. Neste ensaio, uma amostra é sujeita a uma pressão de água uniformemente crescente de um dos lados do tecido e após a penetração de água em três pontos diferentes deste, são registados os valores de pressão associados [11].

Na construção civil, determinadas construções, recorre-se a um tecido denominado por geotêxtil, que consiste na prevenção da mistura de solos com outros materiais permitindo apenas a passagem de líquidos através dele.

Este material, é utilizado na construção de estradas, vias férreas, túneis e estruturas subterrâneas, obras de terraplanagem, fundações e estruturas de suporte, sistemas de drenagem, obras para controlo da erosão (proteção costeira, revestimento da margem de rios ou de canais), construção de reservatórios, barragens ou depósitos de resíduos sólidos e líquidos, coberturas ajardinadas, etc.

De forma a verificar se este tecido responde às exigências requeridas é necessário testá-lo, e para isso recorre-se ao uso de um permeabilímetro, com o mesmo princípio do utilizado pela

indústria têxtil.

Através da pesquisa realizada por Gardoni (1995), que consiste na introdução de água no sentido vertical, fazendo-a passar por diversas amostras de solo e de geotêxtil, permitiu determinar e avaliar a permeabilidade no tipo de amostra, na interface solo-geotêxtil e a permeabilidade total do sistema. Na Figura 2 pode-se observar esse sistema de determinação da permeabilidade [12] [13].

A determinação da permeabilidade em geotêxtis pode ser determinada por várias normas, tais como, a EN 13562:2000, a EN ISO 11058:1999, a EN ISO 10776 e a EN 14150:2006 [14].

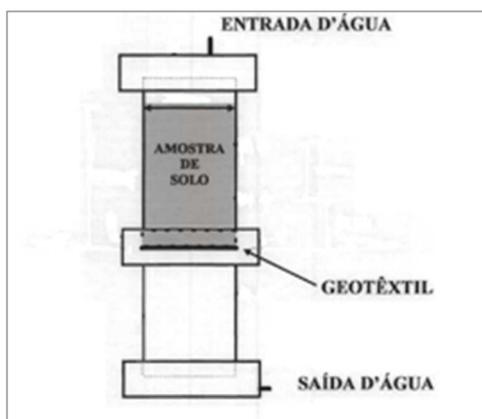


Figura 2 - Esquema de um permeabilímetro utilizado na determinação da permeabilidade de um geotêxtil [15].

Para medir a permeabilidade em reforços usados nos compósitos foi desenvolvido um permeabilímetro designado por permeabilímetro CLS, este em particular mede a permeabilidade no plano.

Neste equipamento o reforço é colocado numa cavidade, estando este vedado por duas placas de vidro onde e o fluido sujeito a uma determinada pressão atravessa a cavidade e impregna o reforço. Um gradiente de pressão é gerado durante um período de tempo e o fluxo de fluido é determinado nesse mesmo período de tempo.

Após realizado o ensaio, a permeabilidade é determinada pela equação da lei de Darcy através dos parâmetros referidos na equação 1 [6].

A Figura 3 ilustra o permeabilímetro CLS.



Figura 3 - Permeabilímetro CLS [6].

Existe também na indústria equipamentos capazes de medir a permeabilidade ao vapor de água, através do método de detecção da humidade. Este, tem como objetivo a determinação da taxa de transmissão de vapor de água para filmes plásticos, filmes laminados e vários materiais de barreira utilizados na indústria médica e farmacêutica.

O teste da taxa de permeabilidade de vapor de água, pode controlar e ajustar dados técnicos de materiais, para satisfazer requisitos de aplicação.

Este ensaio, consiste na colocação das amostras numa câmara seca e húmida sob uma temperatura constante, e um sensor na câmara de teste que deteta alterações de humidade e rastreia o custo de tempo a partir de ajustamento de dados de limite superior para dados de limite inferior. Através de uma medição constante e repetida, assim como, análise sistemática, taxa de permeabilidade de vapor de água e coeficiente de permeabilidade de vapor de água podem ser obtidos. Este ensaio segue a norma ASTM E398 [16].

Na Figura 4, pode-se observar um medidor de permeabilidade de água.



Figura 4 - PERME TSY-W1 Medidor de Permeabilidade de Vapor de Água com método da humidade [17].

Contudo, ainda existe equipamentos que avaliam a permeabilidade ao dióxido de carbono, oxigênio, e aos materiais referidos anteriormente [18].

2.3. Compósitos

Um material compósito consiste na combinação de duas ou mais fases física ou quimicamente distintas, adequadamente distribuídas.

Devido aos avanços tecnológicos os inúmeros requisitos exigidos aos materiais comuns, levou ao aparecimento de materiais capazes de corresponder às novas exigências, que não se conseguem obter em componentes isolados [19].

Os compósitos são normalmente constituídos por uma fase contínua, chamada de matriz e uma fase dispersa, designada de reforço. O reforço pode ser formado por fibras ou partículas que estão dispersas na matriz, proporcionando melhores propriedades mecânicas ao compósito [19].

As propriedades finais dos compósitos dependem fortemente da adesão entre o reforço e a matriz e variam dependendo do tipo de aplicação que se pretende.

A aplicação de materiais compósitos vai desde os simples artigos utilizados no nosso dia-a-dia até aplicações em tecnologias de ponta, como o caso da indústria aeronáutica, aeroespacial, automóvel, energética e em artigos de desporto como, bicicletas, raquetes de ténis e pranchas[19].

Na Figura 5 pode-se observar um esquema elucidativo da constituição de um compósito.

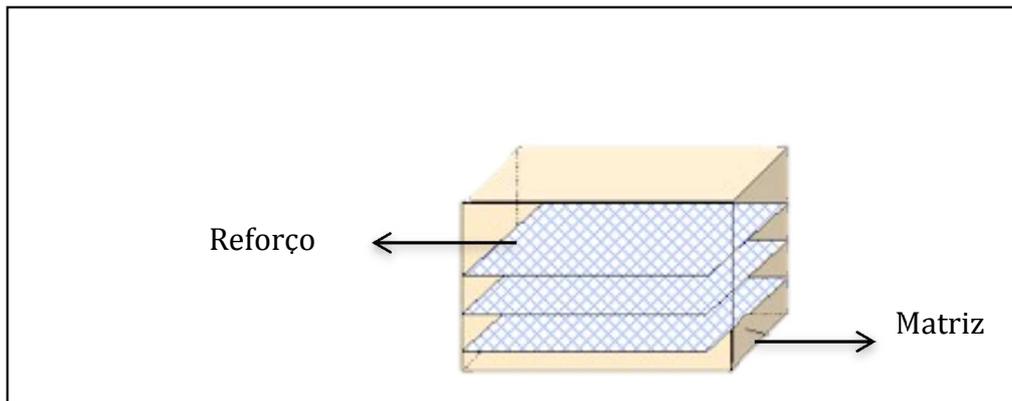


Figura 5 - Esquema da constituição de um compósito [20].

2.3.1. Matriz

A matriz tem como principais funções proteger o reforço do ambiente externo evitando que este entre em contacto com meios ácidos ou corrosivos, manter o reforço no seu lugar, transferir a tensão para o reforço e em determinados casos pode ter de suportar cargas transversais ao eixo da fibra.

Será importante referir ainda que a matriz pode ser de origem polimérica, metálica ou cerâmica.

Os compósitos de matriz polimérica tem sido cada vez mais escolhida como opção, devido à tecnologia de produção mais avançada, baixo custo da matéria-prima e do processo de produção, quando comparada com a matriz metálica.

Dependendo do tipo de aplicação, os compósitos de matriz cerâmica são particularmente adequados onde a temperatura elevada ou a sua estabilidade química é relevante [21].

Quando se selecciona uma determinada matriz para uma aplicação específica, deve-se ter em conta vários parâmetros tais como: temperatura, humidade, corrosão química, radiação violeta e outros efeitos ambientais.

O método de processamento também deve ser levado em consideração, pois influencia o aparecimento de falhas e fissuras estruturais e microestruturais, de tensões residuais e da qualidade da interface matriz-fibra [21].

Nos compósitos de matriz polimérica, como o nome indica, é utilizada uma matriz constituída por um polímero que pode ser termoplástico ou termoendurecível.

Os compósitos de matriz termoendurecível apresentam valores de viscosidades bastante inferiores às dos materiais termoplásticos, promovendo deste modo, uma melhor capacidade de impregnação.

Em aplicações mais exigentes a matriz termoendurecível também tem sido uma opção, pois apresenta uma elevada rigidez e um comportamento estável a variações de temperatura.

No entanto, os termoendurecíveis não são recicláveis. Verificando-se que depois de processadas as moléculas formam estruturas tridimensionais bastantes rígidas e assumem uma forma permanente. As matrizes termoendurecíveis mais utilizadas são poliésteres, resinas epóxicas e viniléster [19] [22].

Embora as resinas termoendurecíveis tenham dominado a indústria dos compósitos durante as últimas três décadas, o interesse pelas resinas termoplásticas tem vindo a aumentar, pois apresentam maior resistência ao impacto, tenacidade, deformação na rotura e ductilidade. Para além disso, têm a vantagem de serem recicláveis [21].

No entanto, esta matriz possui uma elevada viscosidade dificultando a impregnação. Alguns exemplos destas matrizes são as poliamidas, o polipropileno e o policarbonato [19] [22].

2.3.2. Reforço

Nos compósitos o reforço pode ser encontrado sob a forma de fibras ou partículas, sendo as fibras as mais requeridas.

Estas, também se encontram disponíveis em duas formas, contínuas e descontínuas.

Em geral, as fibras descontínuas são essencialmente usadas em aplicações estruturais secundárias ou com pouca carga, enquanto que, os compósitos reforçados com fibras contínuas são utilizados em aplicações estruturais primárias e são considerados materiais de elevada performance estrutural [21].

Deste modo, as fibras podem diferir no tipo, na quantidade, no comprimento, na orientação e na possibilidade de usar fibras híbridas.

A seleção das características a utilizar numa determinada aplicação, depende do tipo de produto final e a escolha do reforço, enquanto que, a matriz apenas depende do desempenho mecânico [21].

Os reforços geralmente utilizados nos compósitos poliméricos são as fibras de vidro, de carbono e de aramida (Kevlar). Na tabela 1 são apresentadas algumas das suas propriedades [19] [21].

Tabela 1 - Valores das propriedades de algumas fibras [21].

<i>Materiais</i>	<i>Módulo de Elasticidade (GPa)</i>	<i>Resistência à tração (GPa)</i>	<i>Densidade (g/cm³)</i>
E-glass	72,4	3,4	2,54
S-glass	85,5	4,6	2,48
Fibra de carbono (high modulus)	390	2,1	1,90
Fibra de carbono (high tensile strength)	240	2,9	1,77
Kevlar	130	2,8	1,45

2.3.3. Fibra de Vidro

O reforço mais amplamente usado nos compósitos de matriz polimérica é a fibra de vidro.

As propriedades do produto final são pré-determinadas pela combinação do reforço e da matriz. Compósitos reforçados com fibras de vidro proporcionam um aumento da sua resistência mecânica, rigidez, resistência ao impacto, estabilidade dimensional e aumenta o seu uso em faixas mais amplas de temperatura. Logo, um aumento das propriedades mecânicas do compósito é proporcional à quantidade de fibras usadas.

A geometria das fibras de vidro também irá influenciar as propriedades finais do compósito [23].

Na produção das fibras de vidro uma série de composições são normalmente utilizadas.

Um filamento contínuo é uma fibra individual produzida por estiramento de filamentos de vidro à base de óxido de sílica, existente num forno a uma temperatura que ronda os 1400°C. Estes, são extrudidos através de uma fieira colocada à saída do forno e são imediatamente arrefecidos por um pulverizador de água e revestidos com uma solução aquosa de proteção, denominada por *sizing*, evitando deste modo, o aparecimento de defeitos na superfície pois, determina em grande parte a resistência das fibras.

O *sizing*, cuja composição é o aspecto mais sensível na produção das fibras de vidro, é aplicado por um rolo de borracha antes dos filamentos serem enroladas numa bobine para formar filamento contínuo de fibra. Esta composição é crucial para o manuseamento das fibras e na compatibilidade com a matriz. Se se verificar uma fraca adesão, esta vai-se refletir na capacidade com que a resina impregna as fibras [22] [24].

As fibras de vidro encontram-se disponíveis em três diferentes composições, E (elétrica), S (elevada resistência à tração) e C (química) sendo as duas primeiras as mais utilizadas.

O tipo E, compostas à base de boro-silicato, alumínio e cálcio são as mais utilizadas, pois apresentam excelentes propriedades mecânicas a baixo custo e elevada resistividade elétrica.

As fibras do tipo S, compostas à base de alumino-silicatos e magnésio, apresentam menos teor de sílica promovendo um aumento considerável do preço. Este tipo de fibras é aplicado em estruturas que requerem uma elevada performance mecânica.

As menos utilizadas são as fibras do tipo C, que possuem uma estabilidade excepcional em ambientes ácidos. No entanto, são pouco resistentes à água, mas encontra aplicação em revestimentos de tecidos.

2.4. Permeabilidade do reforço

A permeabilidade pode ser descrita como uma medida da resistência ao fluxo do fluido no reforço e depende fortemente do método de impregnação e das condições de impregnação como, a pressão de injeção do fluido, o número de camadas, compactação, fração volúmica de fibras e das propriedades da matriz e do reforço, como por exemplo a viscosidade, a configuração e gramagem que levam a permeabilidades diferentes.

A pressão de injeção do fluido está inteiramente ligada à velocidade com que este percorre o reforço, sendo um fator fundamental no processo de impregnação. Se esta for demasiado baixa a peça ficará incompleta e se for demasiado alta a peça pode ficar mal impregnada e ocorrer deslocamento do reforço.

A compactação está relacionada com a fração volúmica de fibras, pois quanto mais compacto for o reforço, maior será a fração volúmica, menor será a sua porosidade e portanto menor a permeabilidade [25].

Reforços com arquiteturas complexas podem dar ao compósito uma melhor estabilidade dimensional, no entanto eles dificultam a sua impregnação, influenciando deste modo a velocidade do decorrer do processo.

A Figura 6 mostra alguns tipos de configurações de reforços usados em compósitos [24].

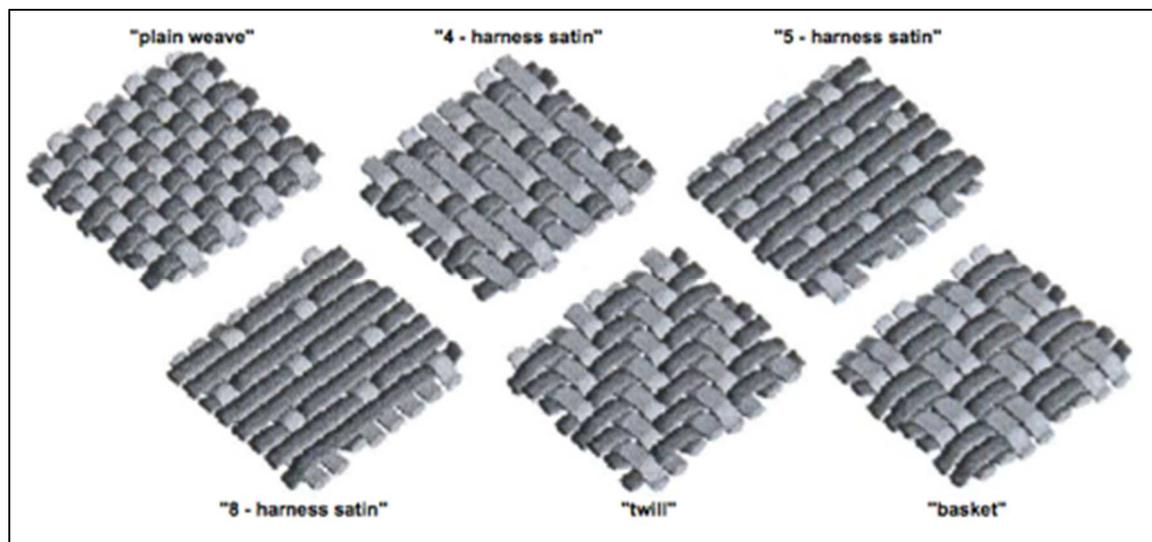


Figura 6 - Representação de alguns tipos de configurações tecidos usados em compósitos [26].

Aliado a cada reforço está a gramagem. Esta, exprime a quantidade de gramas contidas num metro quadrado de tecido e pode variar entre 20g/m^2 a 3500g/m^2 , contudo estes valores estão em constante mudança [27] [28].

A seleção de uma matriz polimérica desejável para a indústria dos compósitos tem sido alvo de muitos estudos, sendo a viscosidade um fator determinante. Durante os últimos anos a utilização de uma matriz termoendurecível tem sido uma opção, pois esta apresenta viscosidades muito baixas que não ultrapassam os 50Pa.s antes de iniciarem a reação de cura. Contudo, se esta não for suficientemente baixa a peça pode ficar incompleta e começa-se a dar a cura da resina, o que é uma das maiores dificuldades na impregnação de fibras [2] [29].

Uma insuficiência de impregnação irá originar o aparecimento de defeitos e zonas frágeis que irão influenciar o desempenho final da peça tais como, espaços vazios, não uniformidade da impregnação e deslocamento entre fibra e matriz [30] [31].

A Figura 7 mostra alguns desses defeitos.

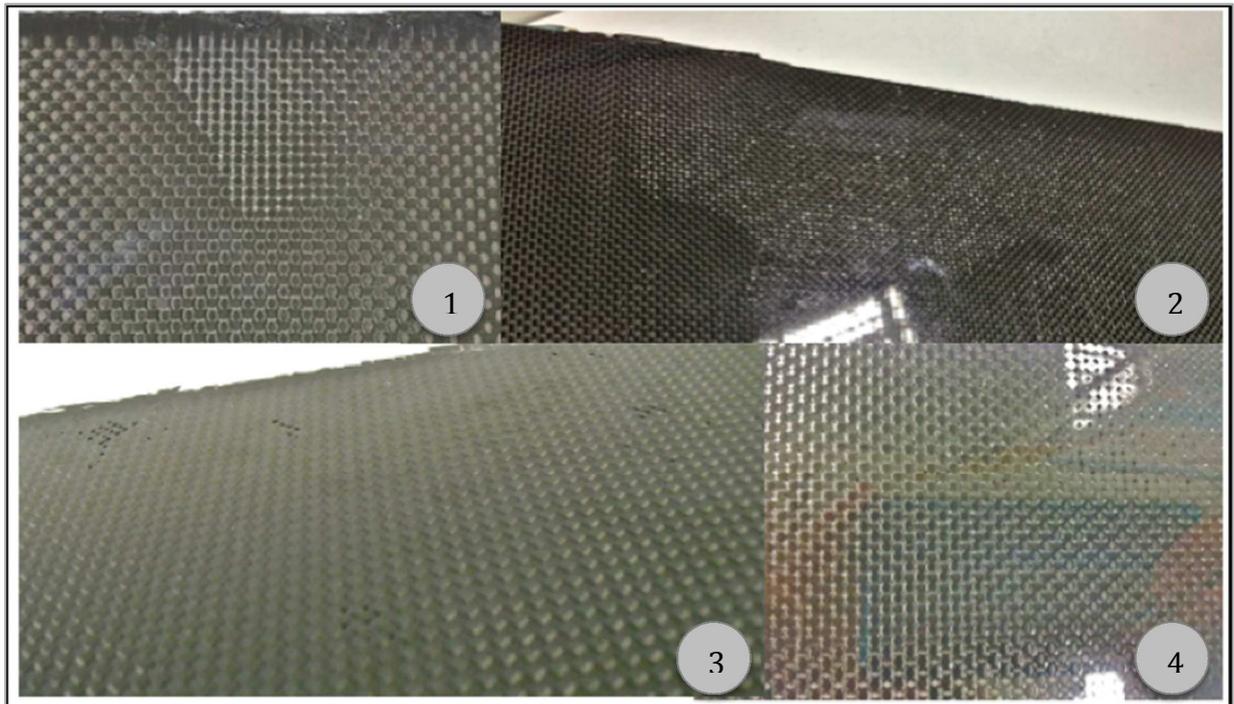


Figura 7 - Defeitos gerados ao impregnar a fibra. Imagem 1) insuficiência na impregnação. Imagem 2,3,e 4) Bolhas de ar.

2.5. Propagação dos erros

Quando se menciona um resultado de medição de uma grandeza física é obrigatório que seja atribuído alguma indicação quantitativa da qualidade do resultado, para que quem o utilize possa avaliar a sua exatidão. Sem esta indicação os resultados de medição não podem ser comparados entre eles mesmos ou com valores de referência fornecidos, por exemplo numa especificação ou numa norma. Para tal, é necessário implementar um procedimento de fácil compreensão e de aceitação geral, para caracterizar a qualidade do resultado de uma medição [32].

A preocupação fundamental do experimentador que realiza uma medição é a de tomar todas as precauções de forma a reduzir os erros durante a experiência. No entanto, todas as medições são afetadas por um erro experimental, como as imperfeições nos equipamentos de medida e as limitações impostas pelos nossos sentidos que registam a nossa informação [33].

Segundo a sua natureza, os erros podem ser de dois tipos, erros sistemáticos e erros aleatórios. Os erros sistemáticos são muitas vezes difíceis de detetar e não existe qualquer teoria generalizada que permita o seu estudo. Contudo, eles podem ser minimizados. Os cuidados do experimentador, o perfeito conhecimento das condições em que se realiza a experiência e do

método que se está a seguir, uma permanente desconfiança dos aparelhos de medida e sobretudo uma larga prática, permitem compensar ou evitar este tipo de erros [33].

Existe um limite abaixo do qual não é possível reduzir o erro sistemático de uma medição, como é o caso da calibração, diretamente associado ao instrumento com o qual se faz a medição. Geralmente, o erro de calibração vem indicado no instrumento ou no seu manual e é o limite dentro do qual o fabricante garante os erros do instrumento [34].

Os erros aleatórios são aqueles que resultam das discrepâncias observacionais persistentes tais como, erros de paralaxe. Eles, ocorrem principalmente em ensaios que estão relacionados com condições ambientais, como por exemplo, variações de temperatura, pressão e humidade. Os erros aleatórios jamais podem ser eliminados, contudo, podem ser reduzidos aumentando-se o número de observações [32] [34].

Muitas vezes o resultado de uma experiência depende de um certo número de quantidades medidas, cada uma das quais associada a um determinado erro. Deste modo, pretende-se saber como combinar esses erros, admitindo que são independentes, de forma a obter o erro no resultado final.

Na maioria das experiências, a medição de uma grandeza Z de interesse é feita de maneira indireta, sendo esta grandeza obtida a partir de medidas de n grandezas primárias $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$. O cálculo de Z é feito a partir de uma função conhecida das grandezas primárias. Estas grandezas são também denominadas de grandezas de entrada, enquanto a grandeza Z é denominada de grandeza de saída.

Um exemplo é o cálculo da densidade d de um material que constitui uma peça paralelepípedica, medindo a sua massa M e as suas dimensões a , b e c . A relação entre a quantidade que se pretende d , e as quantidades primárias M , a , b e c é expressa por:

$$d = \frac{M}{abc} \quad (2)$$

onde,

d : densidade

M : massa

a , b e c : dimensões

Contudo, as quantidades primárias são medidas com um certo erro e pretende-se saber de que

maneira esses erros individuais se propagam no resultado d .

Designa-se por Z a grandeza de saída e por A, B, C , etc. as grandezas primárias. Supõem-se que as grandezas primárias foram medidas várias vezes, então no caso de A tem-se \bar{A} e uma estimativa do respetivo desvio padrão σ_A . Do mesmo modo, tem-se \bar{B} e uma estimativa do erro padrão σ_B e assim sucessivamente. Assume-se que as medidas das grandezas primárias são independentes e portanto os erros nelas cometidas também são independentes. Seja então a função:

$$Z = Z(A, B, C, \dots)$$

e seja σ_A e σ_B , etc. o erro padrão em \bar{A}, \bar{B} , etc. Demonstra-se que o erro padrão σ_Z em \bar{Z} é dado pela expressão matemática da propagação dos erros.

$$\sigma_Z^2 = \left(\frac{\delta Z}{\delta x_1}\right)^2 \sigma_{\bar{x}_1}^2 + \left(\frac{\delta Z}{\delta x_2}\right)^2 \sigma_{\bar{x}_2}^2 + \dots + \left(\frac{\delta Z}{\delta x_n}\right)^2 \sigma_{\bar{x}_n}^2 \quad (3)$$

onde,

σ_Z : Erro padrão

δZ : Variável Z em função dos valores médios das variáveis

δx_n : Valor médio

$\sigma_{\bar{x}_n}$: Desvio padrão das médias

Esta expressão é utilizada quando as grandezas de entrada (x_1, x_2, \dots, x_n) são medidas repetidas vezes gerando valores médios \bar{x}_k e desvios padrão das médias $\sigma_{\bar{x}_k}$. [34] [35].

CAPÍTULO 3

PERMEABILÍMETRO

Neste capítulo é descrito o permeabilímetro e como e para que se utiliza. De seguida, é descrito todo o processo da sua construção, bem como os equipamentos utilizados na realização de ensaios, sendo posteriormente validado por meio de valores calculados teoricamente e obtidos experimentalmente. Também são descritos alguns processos inerentes à determinação da permeabilidade.

3.1. Conceito

O permeabilímetro desenvolvido neste projeto tem como objetivo permitir estudar e prever alterações que ocorrem durante a produção de peças impregnadas com resina. Deste modo, este equipamento vai representar todo o processo de impregnação de um reforço.

Associada à impregnação está a permeabilidade do meio. Esta, traduz a facilidade com que o fluido atravessa o meio poroso, neste caso o reforço e é descrita pela lei de Darcy.

Assim, o ensaio realizado por este equipamento consiste essencialmente na passagem de um líquido, com uma viscosidade conhecida, pelo reforço, impregnando-o.

A equação da lei de Darcy exhibe parâmetros como o gradiente de pressão, caudal volumétrico, distância entre sensores de pressão e área de secção transversal do reforço, essenciais na determinação da permeabilidade.

3.2. Desenvolvimento do permeabilímetro

Durante o projeto foram surgindo diversas soluções e ideias para a construção de um permeabilímetro. A Figura 8 exhibe a solução construtiva que foi desenvolvida neste projeto.

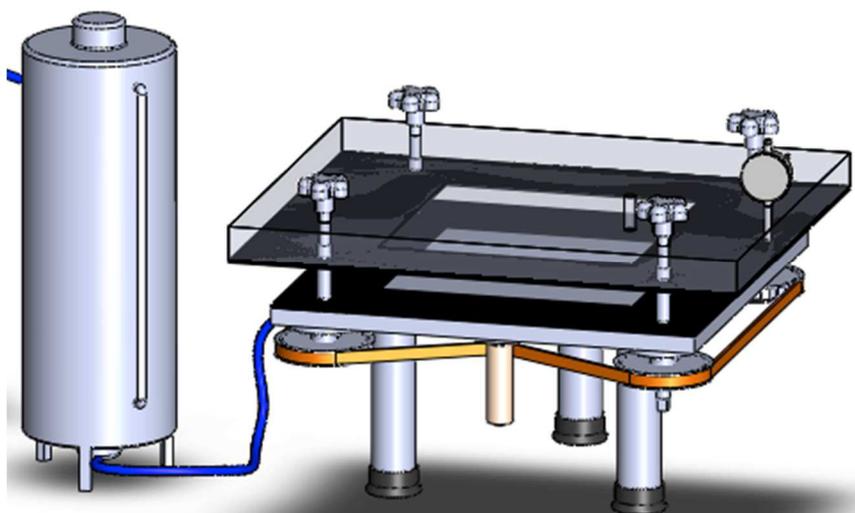


Figura 8 - Imagem do permeabilímetro elaborada no SolidWorks.

O permeabilímetro é constituído por duas placas, uma superior de acrílico transparente para possibilitar a visualização do avanço da frente de fluxo do fluído e outra inferior de aço. A placa de aço, 500x500mm, sustenta três pés de suporte e um esticador, como ilustra a Figura 9. Estes, podem ser consultados com mais detalhe no Anexo I.

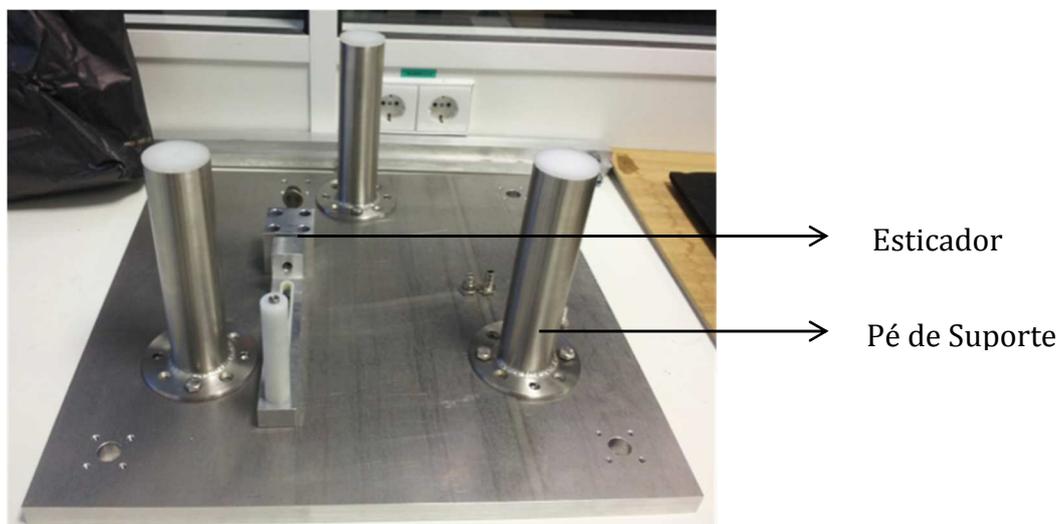


Figura 9 - Montagem dos pés de suporte da placa de aço e do esticador.

À placa de aço é também fixado quatro fusos axiais de esferas que alojam quatro veios. Estes, por sua vez acoplam quatro polias e uma correia formando assim, um sistema que permite mover a placa superior, como se pode observar na Figura 10.

A correia utilizada neste sistema uma PowerGrip HTD de 1904mm com 238 dentes.



Figura 10 - Fixação dos fusos axiais de esferas à placa de aço e incorporação do veio. Montagem da polia e da correia.

Na Figura 11, pode-se observar o sistema que permite mover a placa de acrílico após a montagem dos fusos axiais de esferas, veios, polia e correia.

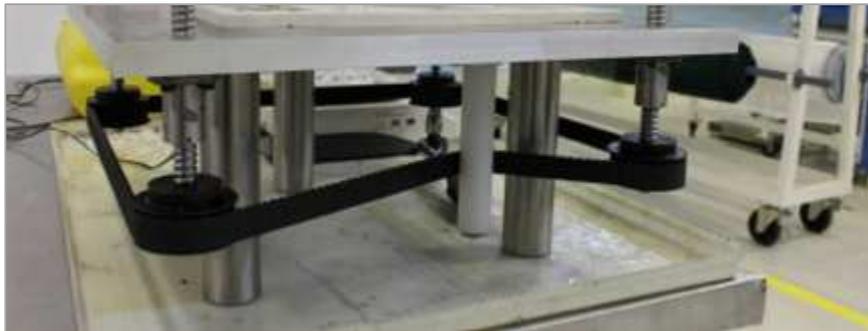


Figura 11 - Resultado final da montagem dos fusos axiais de esferas, veios, polias e correia.

Concluída a montagem do sistema de elevação foi colocada a placa de acrílico entre os veios. Esta, tem como dimensão 600x500mm e pode ser observada no Anexo I para mais detalhe.

Sobre a placa de acrílico foram roscados quatro manípulos nos veios, para que esta permaneça firme sempre que se mova no sentido ascendente e descendente.

Recorreu-se ao uso de rolamentos axiais de esferas de 15mm de diâmetro com uma capacidade máxima de 10,6KN, que foram encastradas na placa de acrílico em volta de cada veio de forma a promover a fixação dos manípulos, não provocando o seu desenroscar, enquanto a placa se move. A Figura 12 e a Figura 13 ilustram um manípulo e o rolamento de esferas, respetivamente.



Figura 12 - Manípulo roscado no veio sobre a placa de acrílico.

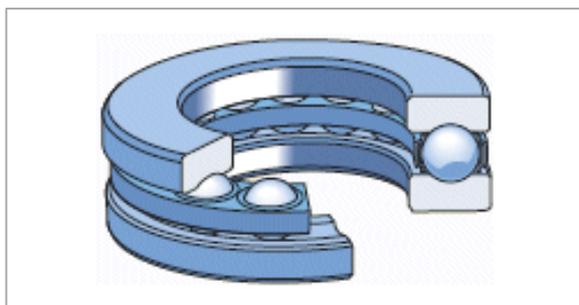


Figura 13 - Rolamento axial de esferas [36].

Em cada placa, de aço e de acrílico foram efetuados dois orifícios. Na placa de aço, um dos orifícios será para a entrada do fluído e o outro será para um conector de pressão que se encontra localizado depois da entrada do fluído. Na placa de acrílico um dos orifícios será para a saída do fluído e o outro para o conector de pressão que está situado antes deste. Estes conjuntos de orifícios estão a uma distância de 201mm.

Na Figura 14, pode-se observar o pormenor da saída do fluído e do conector de pressão fixado na placa de acrílico.

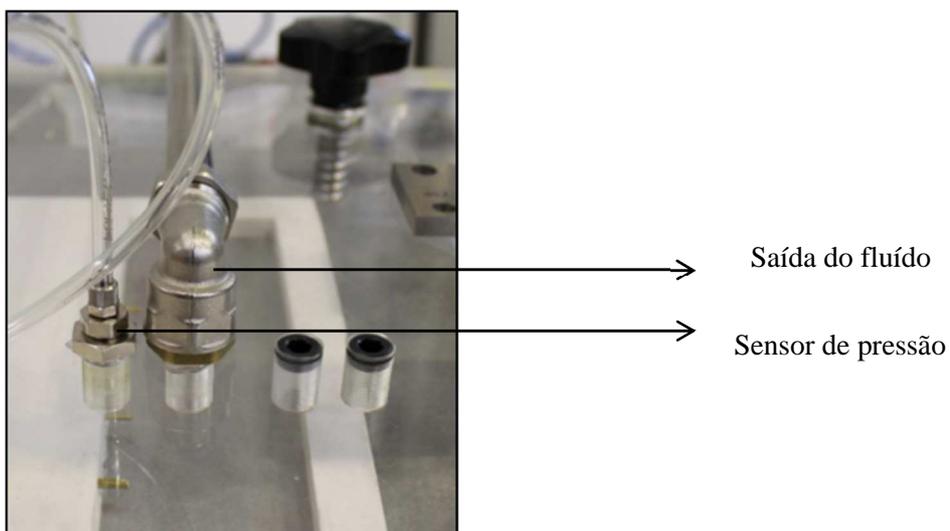


Figura 14 - Pormenor da saída do fluido e do sensor de pressão fixado na placa de acrílico.

Na realização de um ensaio, o material de reforço é colocado entre as duas placas e é vedado por uma espuma de célula fechada, como ilustra a Figura 15. E através do sistema criado para mover a placa de acrílico, esta desce até à altura desejada, indicada pelos valores no comparador, de forma a que todo o sistema fique estanque.

Dependendo da espessura requerida pelo reforço, são utilizadas diferentes espessuras da espuma. Esta, pode ser observada no Anexo I para mais detalhe.



Figura 15 - Espuma EPDM de célula fechada 500x500.

O comparador usado é um comparador portátil Mitutoyo Absoluto modelo ID-C1050B, que mede espessuras até 50,8mm e pode ser observado na Figura 16. Para uma visualização mais detalhada sobre este equipamento, este encontra-se no Anexo II.



Figura 16 - Comparador portátil Mitutoyo modelo Absoluto 543-464B.

Após o reforço estar completamente vedado, o fluido proveniente de um recipiente é forçado a sair devido a uma pressão gerada no seu interior. Esta pressão é controlada por um regulador de pressão que força o líquido a escoar e a impregnar o reforço evitando a ocorrência de oscilações na pressão vinda da rede.

A Figura 17 ilustra o regulador de pressão usado. Este, mede pressões até 0,03 MPa e pode ser observado no Anexo II para mais detalhe.



Figura 17 - Regulador de pressão ARP3000.

Devido à resistência que a fibra oferece é criado um fluxo de pressão da área de maior pressão para a de menor pressão, criando deste modo um gradiente de pressão no sistema. Para tal,

são colocados sensores de pressão à entrada e à saída do fluxo, para medir essa diferença de pressão. Estes estão a uma distância de 201mm.

Acoplou-se ao permeabilímetro um diferencial de pressão. Este, está conectado a um computador, de forma a registar os valores obtidos durante o ensaio num determinado período de tempo e mede pressões até 5 Psi (0,034MPa).

A Figura 18 ilustra o diferencial de pressão referido e para mais detalhe este pode ser consultado no Anexo II.



Figura 18 - Diferencial de pressão EXTECH, modelo HD750, capaz de medir valores de pressão até 5psi.

De forma a determinar a permeabilidade do reforço é necessário que a pressão do sistema estabilize, logo é posicionada uma balança na outra extremidade do permeabilímetro que recolhe e pesa a quantidade de fluído que escoar num determinado período de tempo, como se pode observar na Figura 19. Deste modo, é possível criar uma relação linear entre a pressão gerada e o caudal volumétrico.



Figura 19 - Recolha do fluído num recipiente colocado numa balança.

A Figura 20, ilustra a balança usada. Esta é uma Denver Instrument, modelo SI- 4002, com uma capacidade máxima de 4000g. No Anexo II, este aparelho pode ser consultado com mais detalhe.



Figura 20 - Balança Denver Instrument, modelo SI- 4002.

O fluido utilizado nos ensaios é uma mistura de água e glicerina, pois possibilita uma fácil manipulação da viscosidade, aproximando-a das viscosidades das resinas usadas, facilitando também a limpeza do equipamento.

Para determinar a viscosidade da mistura, recorreu-se ao uso de um viscosímetro. Este, é um viscosímetro Selecta modelo STS-2011 L, apresentado na Figura 21 e é utilizado para medir a viscosidade dinâmica do fluido medindo viscosidades entre 60mPa.s e 2000mPa.s. Esta propriedade expressa a resistência das substâncias a deformar-se quando aplicadas a um esforço cortante. É uma propriedade altamente dependente da temperatura a que se realiza o ensaio.

A viscosidade mede-se determinando a força necessária para mover as partículas do material com uma determinada velocidade de deformação e é obtida como resultado da relação entre o esforço de corte e o gradiente de velocidade. A unidade de medida é o Poise (P), embora na prática se utiliza a sua centésima parte (cP) ou também mPa.s no Sistema Internacional.

No Anexo II, este equipamento pode ser consultado com mais detalhe.



Figura 21 - Viscosímetro Selecta, modelo STS-2011 L.

A Figura 22, exhibe o permeabilímetro desenvolvido.



Figura 22 – Permeabilímetro desenvolvido.

3.3. Guia de utilização

A utilização de um equipamento exige, normalmente, um procedimento. Neste tópico é descrito o procedimento a efetuar antes de se realizar um ensaio de permeabilidade e o seu próprio procedimento.

3.3.1. Ajuste das placas

Antes de se efetuar um ensaio é necessário que não exista uma folga entre as placas de aço e de acrílico. Para tal, estas são ajustadas seguindo um procedimento.

1. Baixa-se a placa de acrílico até esta tocar na placa de aço, com o auxílio da chave de roquete;
2. Verifica-se se não existe folga entre as duas placas;
3. No caso de existir folga entre as placas, retira-se a correia e baixa-se ao máximo com o auxílio do manípulo fixado nos veios, a placa de acrílico;
4. Verificada a folga entre as placas, mede-se a espessura entre elas com o auxílio do comparador (este valor vai ser o zero de referência);
5. Sobe-se a placa de acrílico até se obter suficiente para colocar o reforço e a espuma vedante;
6. Desce-se a placa de acrílico com o auxílio da chave de roquete, até à altura desejada marcada pelo comparador;
7. Se a chave de roquete não for suficientemente forte para manter o sistema fechado, utiliza-se grampos para auxiliar no aperto das placas;
8. Verifica-se se as placas estão bem fechadas e verifica-se se a medida no comparador é a desejada;
9. No caso de as placas não estarem bem fechadas, repete-se o procedimento de novo.

3.3.2. Procedimento de um ensaio de permeabilidade

Após verificada a folga entre as placas, dá-se início ao ensaio de permeabilidade seguindo um procedimento.

1. Determina-se a densidade da mistura de água e glicerina e mede-se a viscosidade (ver Anexo III);
2. Calcula-se a espessura do laminado para a fração volúmica de fibras requerida;

3. Procede-se ao corte do reforço a utilizar com 300x190mm (o corte tem de ser o mais preciso possível, para não criar canais de fluxo rápido nas laterais);
4. Coloca-se a glicerina no tanque próprio para o efeito;
5. Verifica-se se o tanque de glicerina fica bem fechado;
6. Conecta-se o ar comprimido ao regulador de pressão fixado no tanque de glicerina;
7. Move-se a placa de acrílico no sentido ascendente até uma altura considerável;

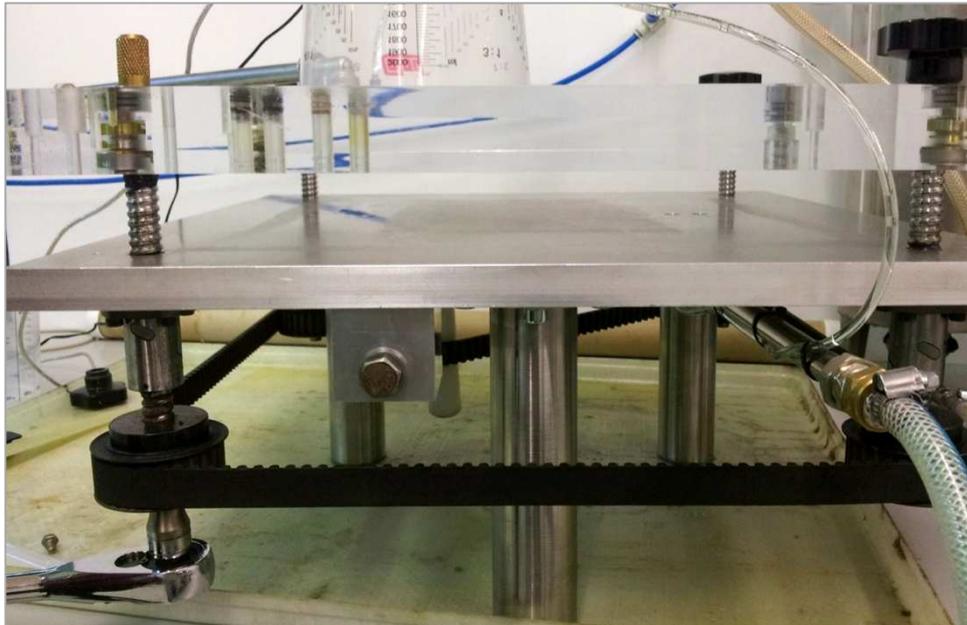


Figura 23 – Posição das placas.

8. Coloca-se a espuma vedante sobre a placa de aço;
9. Coloca-se as fibras no centro da placa de aço entre esta e a espuma;

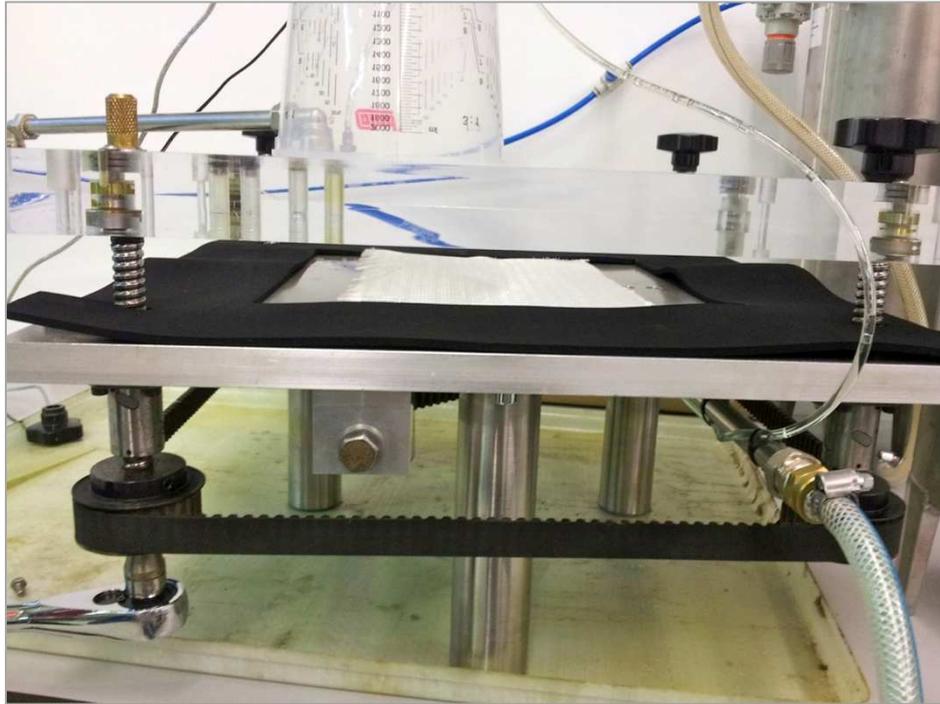


Figura 24 – Fibras entre a espuma sobre a placa de aço.

10. Certificar-se de que não existe espaço entre a espuma e a fibra, evitando canais laterais de fluxo rápido;

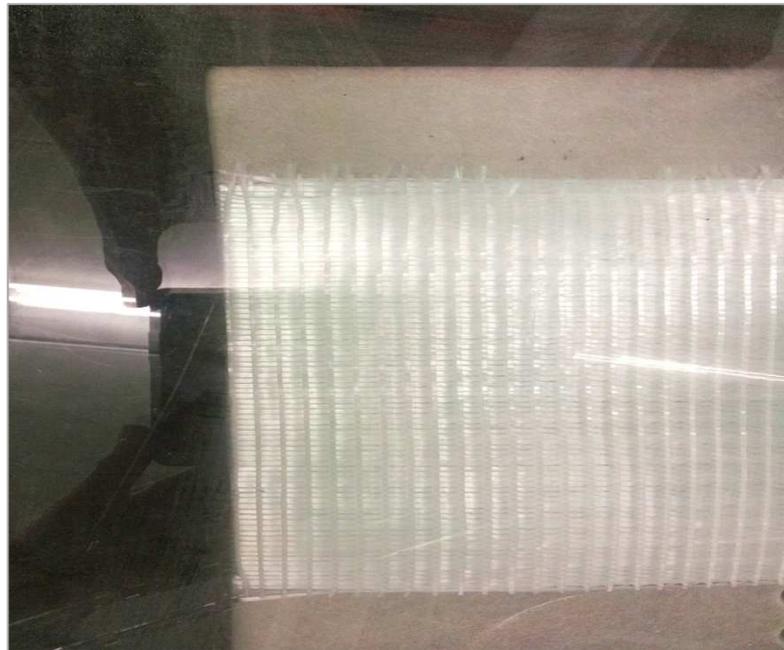


Figura 25 – Ausência do canal lateral de fluxo rápido.

11. Baixa-se a placa e acrílico até à espessura desejada (baseada no cálculo da fração volúmica de fibras);

12. Coloca-se o recipiente que recolhe a glicerina na outra extremidade do permeabilímetro ($\pm 2000\text{ml}$);
13. Conecta-se 2 tubos de borracha do diferencial de pressão à entrada e à saída da glicerina;
14. Conecta-se o diferencial de pressão e balança ao computador e através de um software de aquisição de dados são registados os valores do ensaio;
15. Abre-se a válvula de ar comprimido e ajusta-se a pressão através do regulador de pressão à pressão desejada;
16. Abre-se a válvula do tanque de glicerina;



Figura 26 – Válvula do tanque de glicerina.

17. Verifica-se se não passa glicerina através da espuma;
18. Verifica-se se o laminado não se move e se a espessura do laminado não varia com a pressão;
19. Espera-se que a glicerina atravesse o laminado;
20. Espera-se que a pressão e a taxa de fluxo estabilize e quando estabilizar guarda-se os valores registados;
21. Fecha-se a válvula do tanque de glicerina;
22. Fecha-se a válvula de ar comprimido;
23. Espera-se que a glicerina escoar;
24. Abre-se o sistema e retirar a espuma e as fibras;
25. Limpa-se o equipamento com água quente, preferencialmente.

3.4. Validação

A validação tem como objetivo estabelecer evidências documentadas que prove um elevado grau de garantia num processo específico, garantindo que o produto satisfaça os requisitos exigidos.

Da literatura sabe-se que os dados de ensaio para as medições de permeabilidade variam significativamente de laboratório para laboratório. Isto deve-se ao modo de como é realizado

o ensaio, aos diferentes fluidos utilizados e outros fatores. Em alguns casos, até as medições dentro do mesmo laboratório podem variar.

Assim, a partir da medição de um tubo, sugeriu-se o cálculo da permeabilidade como referência, utilizando a razão entre a permeabilidade medida experimentalmente e por cálculo, como fator de escala.

Para a permeabilidade efetuada em cálculo foi utilizado a seguinte relação que é obtida a partir da derivação da lei de Darcy e da lei de Hagen-Poiseuille.

$$K = \frac{\emptyset R^2}{8} \quad (4)$$

Onde,

K: Permeabilidade (m²)

\emptyset : Porosidade

R: Raio interno de um tubo (m)

A porosidade é definida por:

$$\emptyset = N_t \frac{\pi R^2}{S} \quad (5)$$

Onde,

\emptyset : Porosidade

N_t : Número de Tubos

S: Área de secção transversal normal ao modelo (m²)

R: Raio interno de um tubo (m)

Através da substituição da equação 5 na equação 4 e dos respectivos dados, obteve-se a permeabilidade teórica de 7,86E-11m² para o conjunto de dois tubos com diâmetro interno de 0,0014m e área de secção transversal de 0,0024m².

A determinação da permeabilidade através de medições, consiste na passagem do fluido através dos tubos, como se de um ensaio com fibra se trata-se.

De forma a ser possível trabalhar com tubos, estes são fundidos num bloco de borracha de silicone encaixando-se perfeitamente no local onde se irá impregnar o tecido. A Figura 27 ilustra a sequência de produção do bloco de silicone.

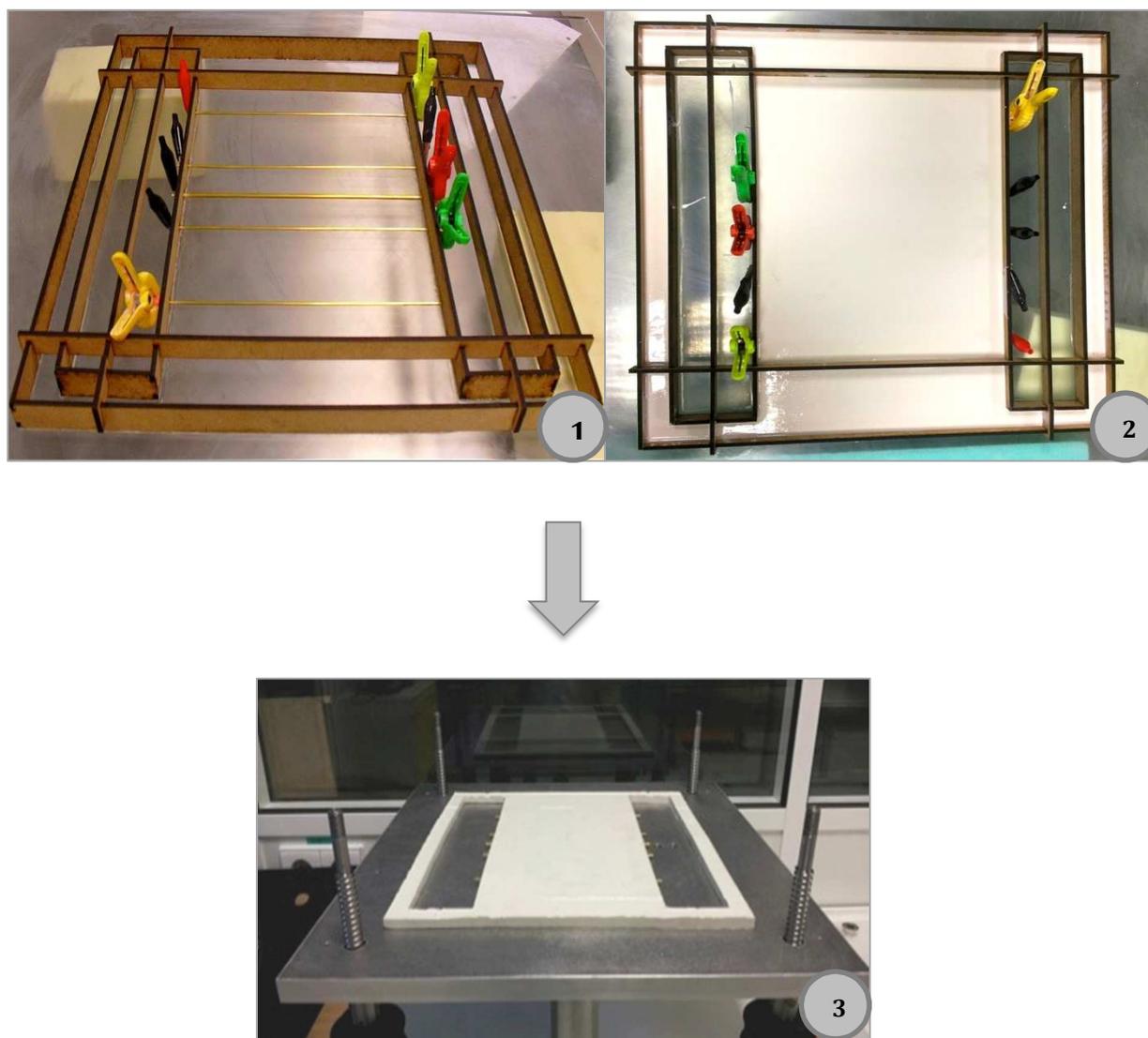


Figura 27 - 1) Molde para a produção do bloco de silicone. 2) Deposição da borracha de silicone no molde. 3) Bloco de silicone.

O fluido proveniente do recipiente é forçado a sair devido à pressão de 200mbar, que é gerada no seu interior e obriga o fluido a escoar pelos tubos.

Através dos valores registados pelo diferencial de pressão, obtém-se um gráfico pressão em função do tempo, e através da quantidade de fluido que escoar num determinado período de tempo para a balança, obtém-se o caudal mássico.

Assim, é possível para o mesmo intervalo de tempo, obter uma pressão estável e um caudal constante, obtendo-se uma relação linear entre a pressão e o caudal.

O valor do gradiente de pressão e caudal, obtidos nesse intervalo de tempo, são substituídos na equação 1, juntamente com o valor da densidade do fluido, da viscosidade de fluido, da distância entre sensores de pressão e área de secção transversal, obtendo-se por fim a permeabilidade.

A Figura 28, apresenta o gráfico pressão em função do tempo do ensaio realizado com dois tubos.

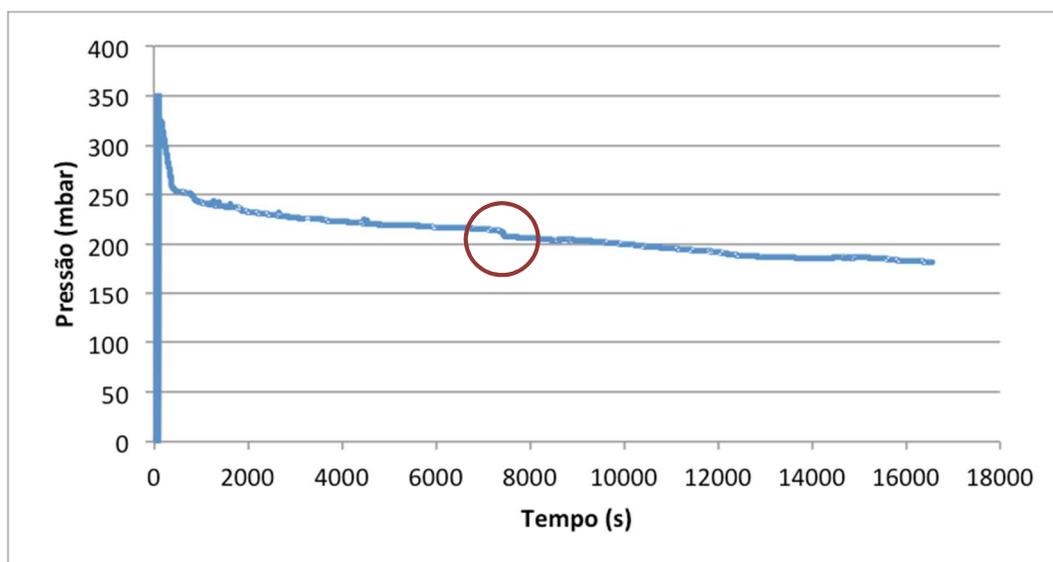


Figura 28 - Gráfico pressão e função do tempo do ensaio de validação.

Através da análise do gráfico da Figura 28, verifica-se a pressão vai diminuindo ao longo do tempo, o que não era esperado. Esta, pode ser explicada através da coluna de líquido que vai diminuindo ao longo do tempo. Também se observa uma queda de pressão brusca, zona em destaque, que se deve à passagem de líquido do recipiente superior para o recipiente inferior como ilustra a Figura 29, explicada pelo mesmo motivo.



Figura 29 - Esquema do ensaio de permeabilidade.

Com recurso à equação 6 da pressão hidrostática, foi possível determinar a pressão que foi exercida na base da coluna de líquido ao longo do tempo.

$$P = \rho gh + P_{ext}. \quad (6)$$

Onde,

P: Pressão hidrostática (Pa)

ρ : Densidade do fluido (g/m^3)

g: Aceleração da gravidade (m/s^2)

h: Altura da coluna (m)

P_{ext} : Pressão externa (Pa)

Através da substituição da equação 7 do volume do recipiente (cilíndrico) na equação 8 do caudal volumétrico, determinou-se a altura da quantidade de líquido que escoou a cada 20 minutos.

$$V = \pi r^2 h \quad (7)$$

Onde,

V: Volume de um cilindro (m³)

Π : Constante matemática

r: raio do cilindro (m)

h: Altura da coluna de líquido (m)

$$Q_v = \frac{V}{T} \quad (8)$$

Onde,

Q_v : Caudal volumétrico (m³/s)

V: volume (m³)

T: Tempo (s)

Obtendo-se a seguinte relação:

$$l = \frac{Q_v t}{\pi r^2} \quad (9)$$

Onde,

Q_v : Caudal volumétrico (m³/s)

t: Tempo (s)

Π : Constante matemática

r: raio do cilindro (m)

Uma vez obtida a altura do líquido que escoou, determinou-se a pressão na base da coluna através da equação 10, subtraindo-se à altura inicial de fluido pela altura obtida.

$$P = \rho g(h - l) + P_{ext.} \quad (10)$$

Onde,

P: Pressão hidrostática (Pa)

ρ : Densidade do fluido (g/m³)

g: Aceleração da gravidade (m/s²)

h: Altura da coluna (m)

l: Altura de líquido que escoou (m)

$P_{ext.}$: Pressão externa (Pa)

Como se pode observar pelos resultados apresentados no gráfico da Figura 30, verificou-se que a pressão diminui a cada vinte minutos, verificando-se o mesmo comportamento em relação ao ensaio realizado.

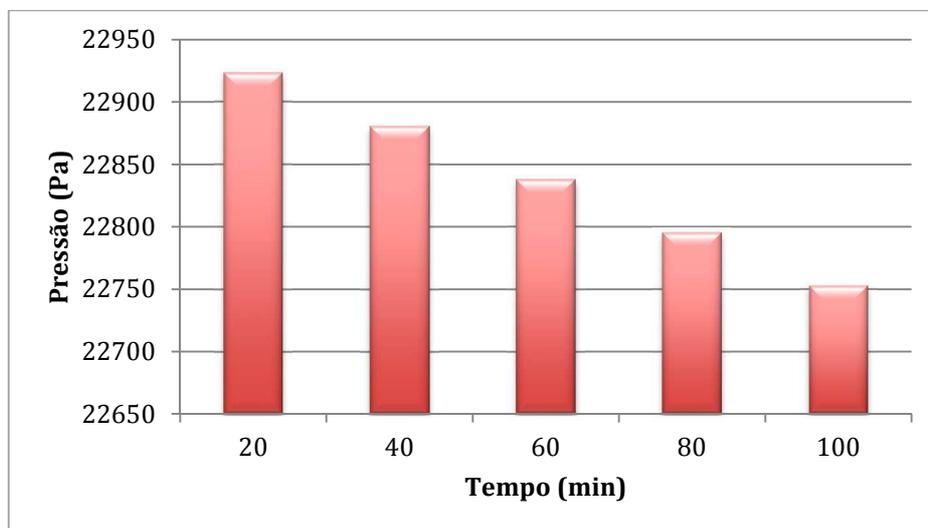


Figura 30 - Gráfico pressão em função do tempo.

Contudo, o gradiente de pressão foi determinado para o mesmo intervalo de tempo em que o caudal mássico esteve constante.

A Figura 31, ilustra o gráfico da pressão em função do tempo no intervalo entre 6000 e 13000s. Tendo em consideração a equação da linha de tendência, foi possível determinar a pressão para este intervalo de tempo de 216,98mbar.

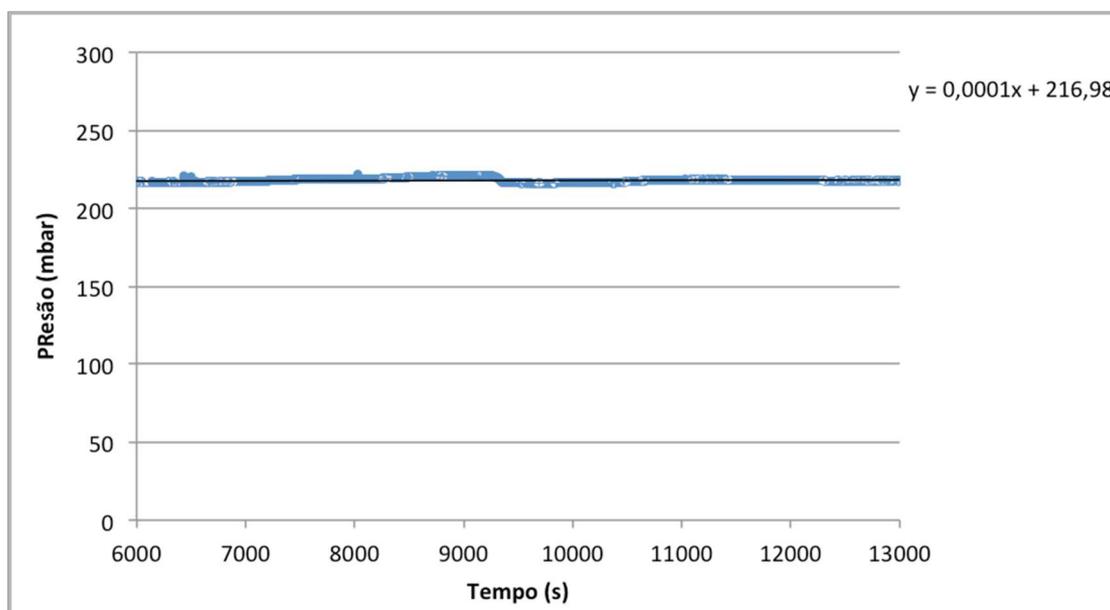


Figura 31 - Gráfico pressão em função do tempo no intervalo entre 6000 e 13000s.

O caudal mássico obtido foi de 0,0867g/s no intervalo de tempo entre 6000 e 13000s como está apresentado no gráfico da Figura 32.

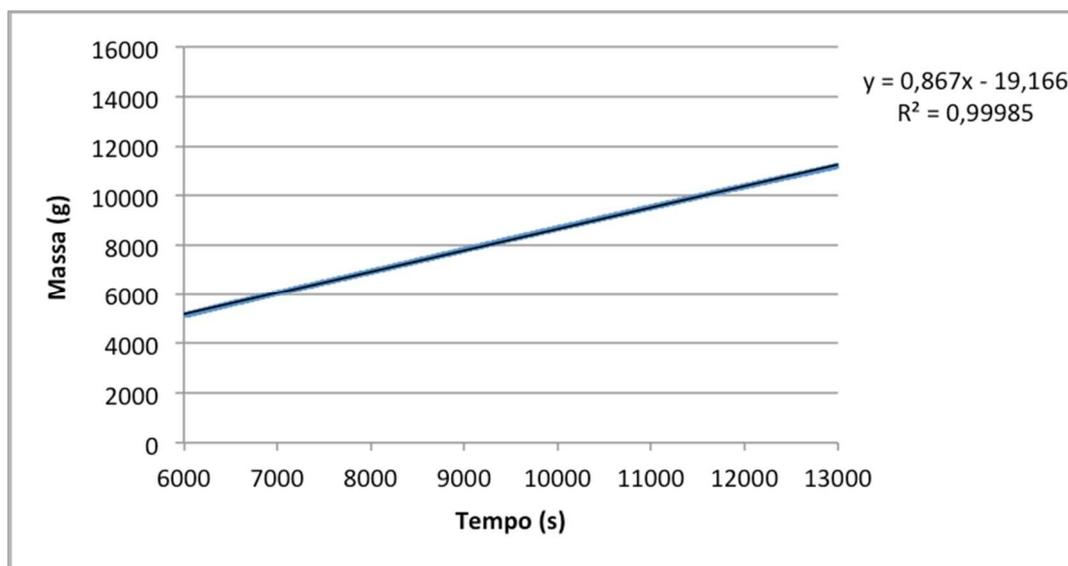


Figura 32 - Gráfico da massa em função do tempo no intervalo entre 6000 e 13000s.

Deste modo, através da equação 1, obteve-se a permeabilidade de $6,03E-11m^2$.

Comparando os resultados obtidos teoricamente e experimentalmente, $7,86E-11m^2$ e $6,03E-11m^2$ respetivamente, verificou-se que apenas diferem em 30%. Assim, é possível traduzir qualquer resultado de um ensaio de permeabilidade para um valor absoluto que é comparado com a permeabilidade medida em tubos.

No cálculo da permeabilidade foi usada a mistura de água e glicerina com uma viscosidade de 0,2166Pa.s. e uma densidade de $1,21057g/cm^3$.

3.5. Canal de fluxo rápido

Ao realizar-se o ensaio pode acontecer que o reforço não fique completamente junto à espuma, criando uma zona de fluxo rápido entre a espuma e o reforço.

A existência deste canal não advém do fato de o reforço possuir uma área menor do que o espaço onde vai ser colocado, mas sim, por este poder não se encostar totalmente à espuma. A Figura 33, ilustra um esquema elucidativo de um possível fluxo rápido pelos canais laterais.

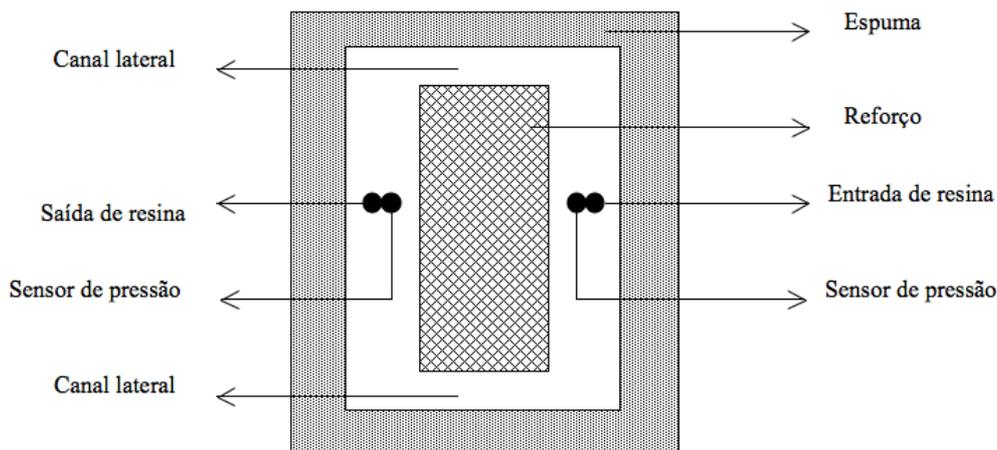


Figura 33 - Esquema do fluxo rápido pelos canais laterais.

Para determinar a influência destes canais é necessário calcular o caudal que passa nessa zona.

Deste modo, recorreu-se à equação do diâmetro hidráulico, equação 11, indicada para secções transversais não circulares e determinou-se o diâmetro do canal.

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (11)$$

Onde,

D_h : Diâmetro hidráulico (m)

A: Área de secção transversal ao molde (m^2)

P: Perímetro (m)

Obtido o diâmetro do canal, calculou-se através da equação 12 da lei de Hagen-Poiseuille o respetivo caudal.

$$\Delta P = \frac{128\eta\Delta x Q}{\pi d^4} \leftrightarrow Q = \frac{\Delta P \pi d^4}{128\eta L} \quad (12)$$

Onde,

η : Viscosidade (Pa.s)

Δx : Variação da distância entre os sensores de pressão (m)

Q: Caudal volumétrico (m^3/s)

d: Diâmetro do tubo (m)

ΔP : Diferença de pressão (Pa)

O caudal determinado pelo ensaio é subtraído ao caudal dos canais laterais obtendo por fim o caudal real, que será ser usado na determinação da permeabilidade.

3.6. Erro na medição do permeabilímetro

Neste tópico pretendeu-se determinar o erro na medição do permeabilímetro. Como se sabe, este requer o auxílio de vários equipamentos que auxiliam na determinação da permeabilidade.

Deste modo, recorreu-se a uma abordagem usada na quantificação da incerteza associada a resultados de ensaio pelo Instituto Português da acreditação, que através da equação da propagação dos erros, foi-se verificar de que forma o erro de cada equipamento se reflete na precisão do permeabilímetro. A equação 13, apresenta a regra matemática usada para estimar essa influência.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\sigma(K)}{K}\right)^2 = & \left(\frac{\sigma(\eta)}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\Delta m)}{\Delta m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2 \\ & + \left(\frac{\sigma(\text{Balança})}{\text{Balança}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\text{Balão Volumétrico})}{\text{Balão Volumétrico}}\right)^2 \\ & + \left(\frac{\sigma(\Delta p)}{\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\Delta p)}{\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{\sigma(\Delta x)}{\Delta x}\right)^2 \end{aligned} \quad (13)$$

Onde,

$\sigma(\eta)$: Incerteza do viscosímetro

η : Viscosidade (Pa.s)

$\sigma(b)$: Incerteza de medição

b : Comprimento de secção (m)

$\sigma(h)$: Incerteza do comparador

h : Altura da secção (m)

$\sigma(\Delta m)$: Incerteza da balança Denver Instrument SI-4002

Δm : Variação da massa de fluido (kg)

$\sigma(\Delta t)$: Incerteza da precisão do tempo na balança Denver Instrument SI-4002

Δt : Variação do tempo decorrido do ensaio (s)

$\sigma(\text{Balança})$: Incerteza da balança OHAUS Pionner

Balança: Peso registado pela balança OHAUS Pionner

σ (Balão Volumétrico): Incerteza do balão volumétrico

Balão Volumétrico: Volume registado pelo balão volumétrico

$\sigma(\Delta t)$: Incerteza do diferencial de pressão

Δp : Variação do gradiente de pressão (Pa)

$\sigma(\Delta x)$: Incerteza de medição

Δx : Variação da distância entre os sensores de pressão (m)

Na equação 10, são inseridos os valores do erro de cada equipamento e a média dos valores medidos por estes num ensaio. Contudo, os valores medidos num ensaio variam. Na tabela 2, podem ser consultados os valores do erro de cada equipamento e os valores médios medidos num ensaio.

Tabela 2 - Valores de erros de medida dos equipamentos e resultados obtidos num ensaio realizado.

<i>Equipamentos</i>	<i>Incerteza</i>	<i>Valor</i>
Viscosímetro	1E-2	-
Diferencial de Pressão	1E-2	-
Denver Instrument SI-4002	1E-5kg	Varia
OHAUS Pionner	1E-6kg	0,12106kg
Balão volumétrico 100ml	1E-7m ³	0,01m ³
Comparador	4E-5m	Varia
Tempo (precisão da balança)	1,1s	Varia

Este estudo foi realizado para cada ensaio, o que significa que cada ensaio possui o seu próprio erro.

CAPÍTULO 4

DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE

A permeabilidade é um parâmetro fundamental para avaliar as condições de processamento e como foi referido na literatura, esta é determinada pela Lei de Darcy.

Neste capítulo serão abordados aspetos relativos à determinação da permeabilidade. Estes iniciam-se pela seleção do material de reforço, de seguida é determinada a permeabilidade e por fim são obtidos os resultados da influência do fluxo pelos canais laterais e o resultado do erro de medição nos ensaios realizados.

4.1. Seleção do material de reforço

Como foi referido anteriormente, existem diversos fatores que alteram a permeabilidade de um reforço, nomeadamente a configuração e gramagem. De forma a estudar a influência destas na permeabilidade do tecido selecionou-se diferentes configurações e gramagens, como se pode observar pela tabela 3.

Tabela 3 - Lista das fibras utilizadas nos ensaios de permeabilidade.

<i>Configuração</i>	<i>Gramagem (g/m²)</i>
Plain	205
Unidirecional	200
	640

4.2. Determinação da permeabilidade

Como é referido na literatura a permeabilidade é influenciada por fatores como, número de camadas, orientação, configuração do reforço, gramagem e fração volúmica de fibra (V_f).

Nesta etapa, pretendeu-se expor o processo de estudo, revelando quais os fatores que se pretendeu variar, como a orientação, configuração, gramagem e V_f , definindo também as condições do processo.

Em cada ensaio foi utilizada uma pressão de injeção de 100mbar e uma viscosidade de 0,2166Pa.s.

As tabelas 4, 5, 6 e 7 indicam as condições e combinações que se estudou, fixando apenas o número de camadas em cinco.

A tabela 4, apresenta a condição 1. Nesta condição utilizou-se o reforço de fibra de vidro com configuração Plain, com uma gramagem de 205g/m² e pretendeu-se variar a orientação das fibras em 0° e 45°, mantendo uma fração volúmica de 50%.

Tabela 4 - Variação da orientação e fração volúmica de fibra.

<i>Configuração</i>	PLAIN 205 E-GLASS	
<i>Orientação</i>	0°	45°
<i>V_f(%)</i>	50	

A tabela 5, apresenta a condição 2 e pretendeu-se variar a fração volúmica em 45% e 50%, mantendo a mesma orientação, 0°, a mesma configuração e gramagem.

Tabela 5 - Variação da orientação e fração volúmica de fibra.

<i>Configuração</i>	PLAIN 205 E-GLASS	
<i>Orientação</i>	0°	
<i>V_f(%)</i>	45	50

A tabela 6 apresenta a condição 3 onde se pretendeu variar a orientação da fibra em 0° e 90°, mantendo a fração volúmica de 50%, alterando-se o tipo de fibra de plain para unidirecional de gramagem 200g/m².

Tabela 6 - Variação da orientação e fração volúmica de fibra.

<i>Configuração</i>	UNI200 E-GLASS	
<i>Orientação</i>	0°	90°
<i>V_f(%)</i>	50	

A tabela 7 apresenta a condição 4 e é alterada a gramagem da fibra de 200g/m² para 640g/m² e pretendeu-se variar a orientação da fibra em 0° e 90° mantendo a mesma fração volúmica, 50%.

Tabela 7 - Variação da orientação e fração volúmica de fibra.

<i>Configuração</i>	UNI640 E-GLASS	
<i>Orientação</i>	0°	90°
<i>V_f(%)</i>	50	

Uma vez definidas as variáveis a estudar e as condições do processo são realizados três ensaios para cada condição e é determinada a permeabilidade do reforço através da equação 1 da lei de Darcy.

Como é conhecido da literatura o cálculo da permeabilidade, através da equação da lei de Darcy é obtida por experimentos. No entanto, alguns parâmetros presentes nesta equação não são obtidos diretamente como por exemplo, o gradiente de pressão, caudal volumétrico e área de secção transversal.

A área de secção transversal utilizada, apenas varia de acordo com a espessura do laminado. Este, pode ser determinado pela equação 14, em que a V_f e o número de camadas pretendidas ditam a espessura.

$$t = \frac{nA_f}{V_f \rho_f} \quad (14)$$

Onde,

t: espessura (m)

n: Número de camadas

ρ_f: Densidade da fibra (g/m³)

V_f: Fração de Volúmica de fibra (%)

A_f: Gramagem (g/m²)

A tabela 8, exhibe as espessuras obtidas pela equação 7 para cada condição, bem como a área de secção transversal.

Tabela 8 - Espessura e área de secção transversal do laminado para cada condição.

<i>Tipo de fibra</i>	<i>Fração Volúmica (%)</i>	<i>Orientação</i>	<i>Espessura (mm)</i>	<i>Área de secção transversal (m²)</i>
PLAIN 205	45	0°	0,876	2,63E-4
	50	45°	0,788	2,36E-4
UNI 200	50	0°	1	3E-4
		90°		3E-4
UNI 640	50	0°	2,5	7,5E-4
		90°		7,5E-4

Por outro lado, existem fatores que não variam e que são utilizados no cálculo da permeabilidade, como a distância entre sensores de pressão, densidade do fluido e viscosidade de fluido. Sendo estes respetivamente, 201mm, 1,21057g/cm³ e 0,2166Pa.s.

O gradiente de pressão, durante o ensaio, foi obtido pelo diferencial de pressão, que através de um sistema de aquisição de dados, regista os valores do ensaio e gera um gráfico pressão em função do tempo.

Na Figura 34, pode-se observar o gráfico típico, obtido por um ensaio escolhido aleatoriamente, da pressão em função do tempo.

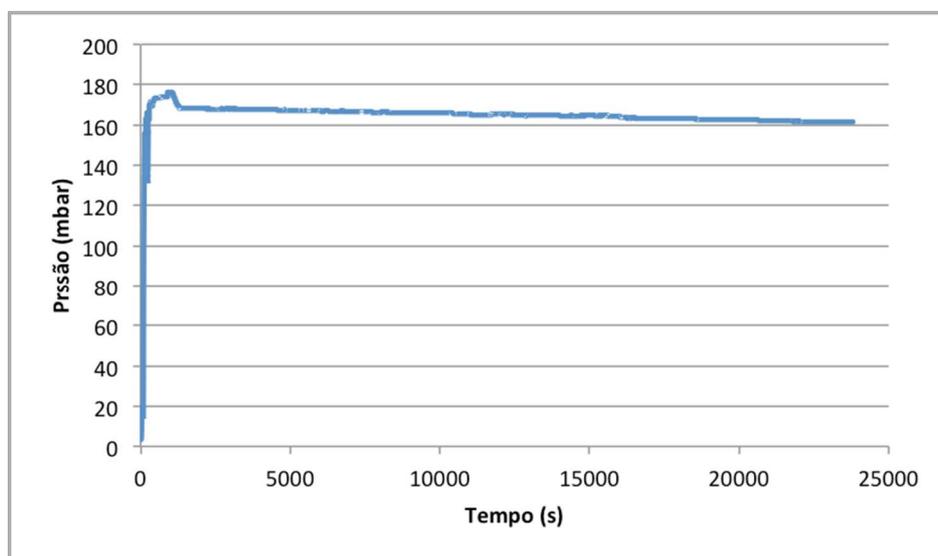


Figura 34 – Gráfico típico da pressão em função do tempo decorrido durante um ensaio.

Para determinar a permeabilidade é necessário que a pressão seja constante num intervalo de tempo. Para tal escolheu-se um intervalo do gráfico em que a pressão fosse constante. O gráfico da Figura 35 ilustra o intervalo do gradiente de pressão entre 10000 e 15000s, referente ao gráfico da Figura 34, onde se verifica um nível de pressão constante.

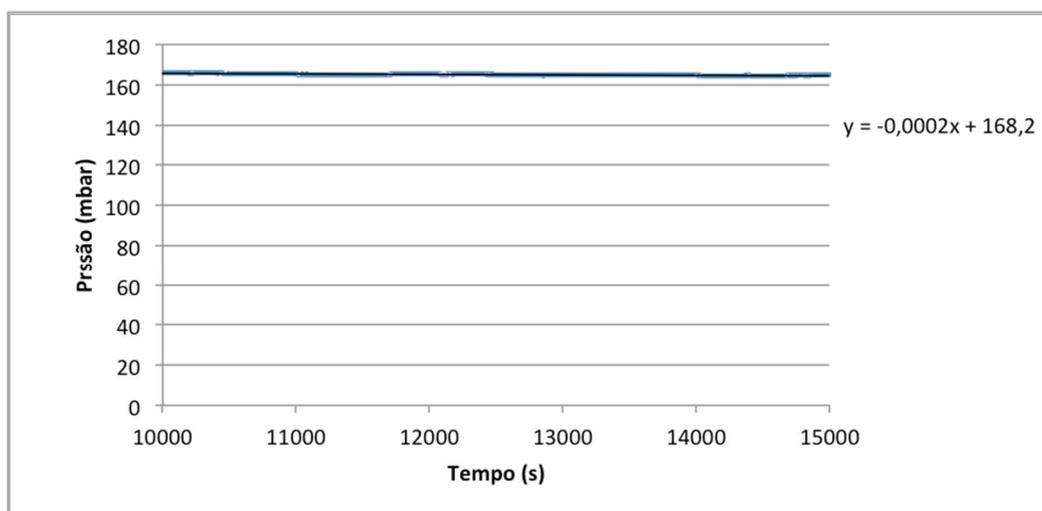


Figura 35 – Gráfico pressão em função do tempo no intervalo entre 10000 a 15000s.

O gradiente de pressão neste ensaio foi de 168,2mbar, obtido através da equação da linha de tendência.

No Anexo IV, apresentam-se os restantes gráficos relativos a cada ensaio, bem como os seus resultados.

O caudal mássico, durante um ensaio, foi obtido através de um sistema de aquisição de dados, que regista a quantidade de fluxo de massa que escoar para a balança durante um determinado período de tempo. A partir dos valores registados é efetuado um gráfico massa em função do tempo e é determinado o caudal mássico, através de uma linha de tendência adicionada ao gráfico, no mesmo intervalo de tempo onde o gradiente de pressão é constante.

Na Figura 36, pode-se observar o gráfico típico, obtido por um ensaio escolhido aleatoriamente, da massa em função do tempo.

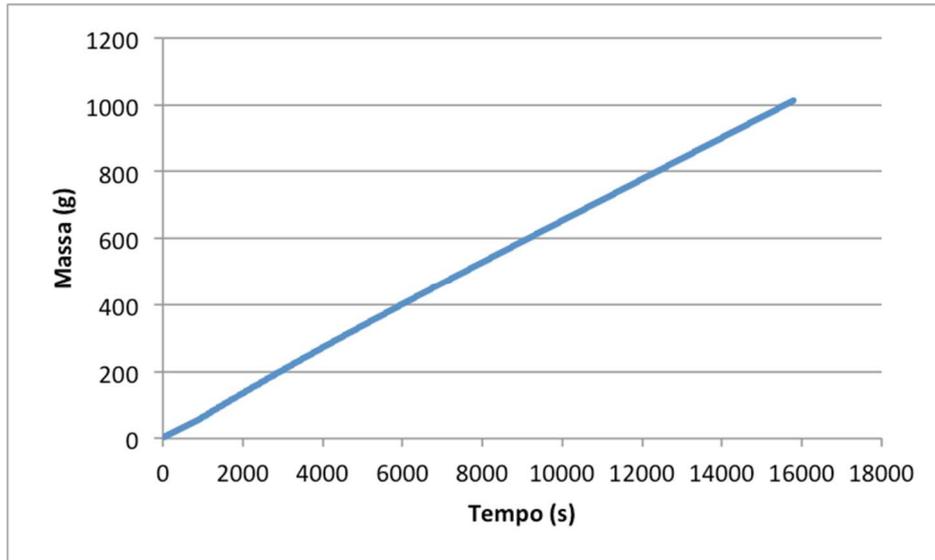


Figura 36 - Gráfico típico da massa em função do tempo decorrido durante um ensaio.

O gráfico da Figura 37 ilustra o intervalo do caudal mássico entre 10000 e 15000s, referente ao gráfico da Figura 36, onde é possível verificar que o caudal é constante.

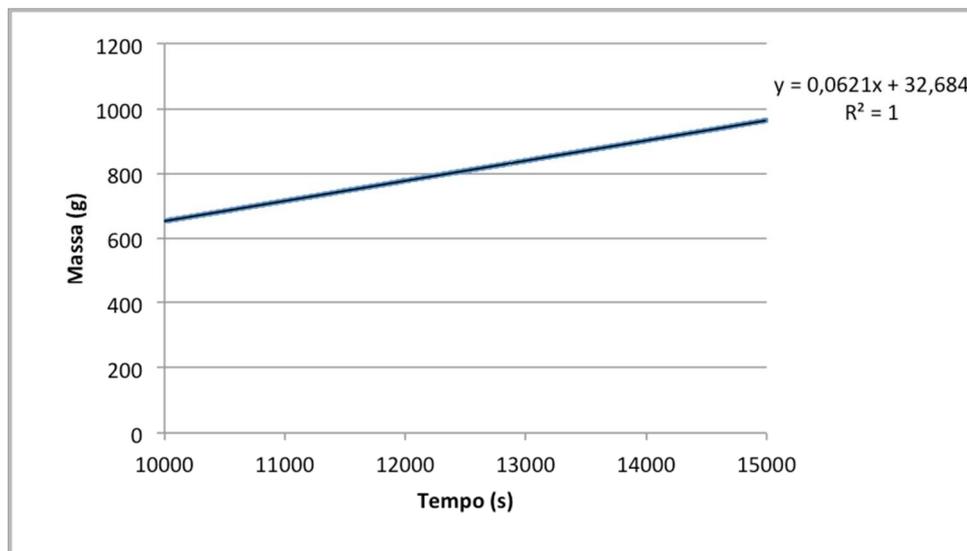


Figura 37 - Gráfico massa em função do tempo no intervalo entre 10000 a 15000s.

O caudal mássico obtido foi de 32,68g/s, por meio da equação da linha de tendência.

Os restantes gráficos do caudal mássico de cada ensaio e os respetivos resultados, encontram-se no Anexo V, bem como o caudal volumétrico.

O caudal volumétrico foi calculado dividindo o caudal mássico pela densidade do fluido, como se pode verificar pela equação 15.

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho} \quad (15)$$

Onde,

Q_v : Caudal volumétrico (m³/s)

Q_m : Caudal mássico (g/s)

ρ : Densidade do fluido (g/m³)

O valor do gradiente de pressão e do caudal volumétrico são determinados no mesmo intervalo de tempo em que ambos estejam estáveis. Logo, o tempo necessário para a estabilização em cada ensaio pode variar.

Como se efetuaram três ensaios para cada condição, foram obtidos três gradientes de pressão e três caudais. Logo, o cálculo da permeabilidade foi determinado para cada um dos três ensaios, obtendo-se posteriormente uma média e um desvio padrão.

De forma a ter uma melhor perceção de um ensaio realizado, a Figura 38 ilustra o decorrer do mesmo.



Figura 38 - Frente de fluxo durante de um ensaio.

Após terem sido determinados os valores do gradiente de pressão, caudal volumétrico e área de secção transversal, determinou-se a permeabilidade.

A tabela 9 apresenta os resultados de permeabilidade em cada condição.

Tabela 9 - Resultado da permeabilidade em cada condição.

<i>Configuração da fibra</i>	<i>Fração Volúmica (%)</i>	<i>Orientação</i>	<i>Permeabilidade (m²)</i>
PLAIN 205g/m ²	45	0°	5,99E-10 ± 8,07E-11
	50	45°	2,62E-10 ± 1,61E-11
UNI 200g/m ²	50	0°	1,09E-8 ± 2,12E-9
		90°	1,25E-10 ± 6,80E-12
UNI 640g/m ²	50	0°	5,72E-10 ± 9,74E-11
		90°	8,39E-11 ± 4,24E-11

De modo a ter uma melhor perceção dos resultados obtidos, foram elaborados gráficos da permeabilidade em função da orientação das fibras e da fração volúmica de fibra.

Condição 1- PLAIN 205g/m², 5 camadas, V_f=50%, 0° e 45°

A Figura 39, apresenta o gráfico da variação da permeabilidade em função da orientação das fibras.

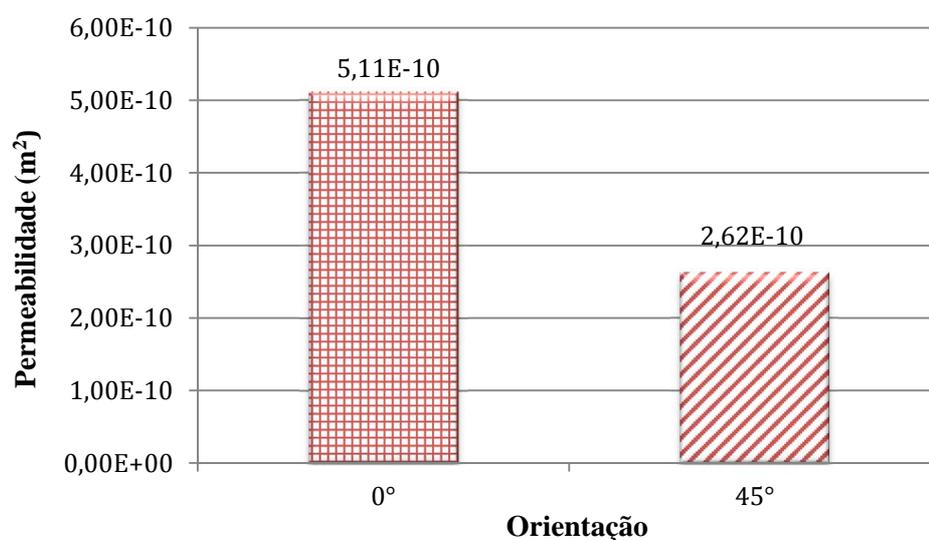


Figura 39 - Variação da permeabilidade em função da orientação das fibras a 0° e 45°.

Como se pode constatar pelo gráfico apresentado na Figura 39, a permeabilidade diminuiu com a alteração da orientação das fibras, devido a estas se encontram orientadas a 45°, provocando uma maior barreira à passagem do fluido.

Condição 2 - PLAIN 205g/m², 5 camadas, 0°, V_f= 45% e 50%

A Figura 40, apresenta o gráfico da variação da permeabilidade em função da fração volúmica de fibras.

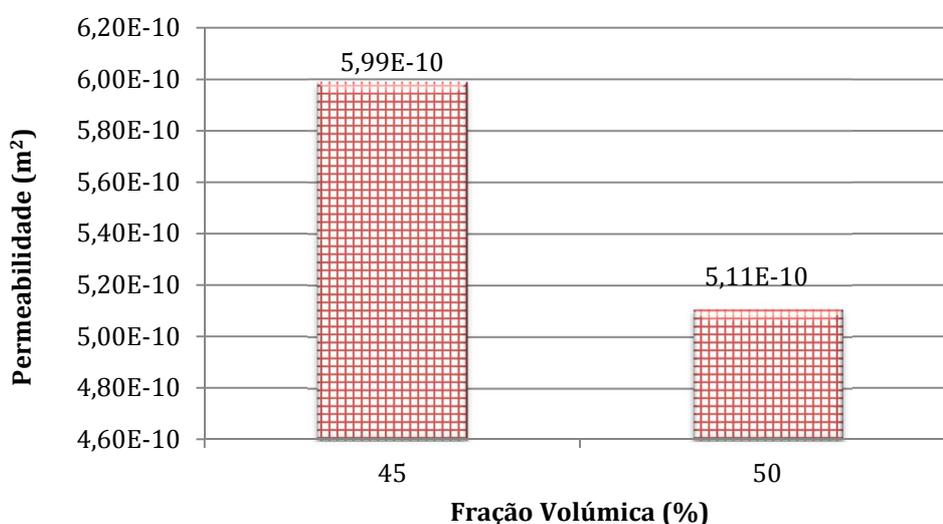


Figura 40 - Variação da permeabilidade em função da fração volúmica de fibras.

Pela análise do gráfico da Figura 40, observa-se que a permeabilidade diminuiu com o aumento da fração volúmica de fibras. A razão pela qual isto acontece deriva do facto de a porosidade diminuir, entre as camadas do reforço, com o aumento da fração volúmica de fibras.

Condição 3- UNI 200g/m², 5 camadas, V_f=50%, 0° e 90°

A Figura 41, apresenta o gráfico da variação da permeabilidade em função da orientação.

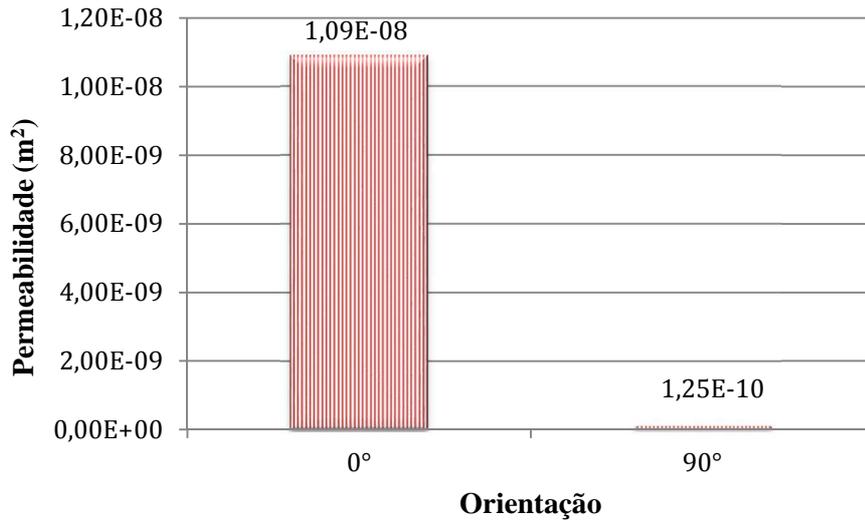


Figura 41 – Gráfico da variação da permeabilidade em função da orientação as fibras.

Relativamente à Figura 41 verifica-se que a permeabilidade do reforço diminuiu com a alteração da orientação das fibras para 90°. Uma vez que, estas se encontravam numa direção perpendicular ao fluxo do fluido dificultando a passagem deste.

Condição 4 – UNI 640g/m², 5 camadas, V_f=50%, 0° e 90°

A Figura 42, apresenta o gráfico da variação da permeabilidade em função da orientação das fibras.

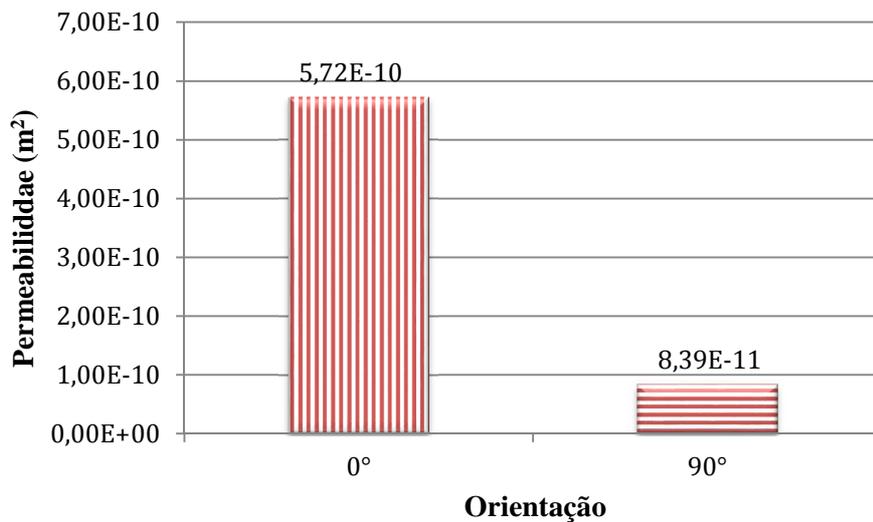


Figura 42 - Gráfico da variação da permeabilidade em função da orientação das fibras.

Observando o gráfico da Figura 42, verificou-se o mesmo comportamento do gráfico da Figura 41. A permeabilidade diminui quando se colocou as fibras a 90°, uma vez que estas se encontravam numa direção perpendicular ao fluxo do fluido dificultando a passagem deste. Comparando o resultado da permeabilidade da fibra de configuração Plain a 0° de 205g/m² com a fibra unidirecional a 0° de 200g/m², observou-se que a última apresenta uma permeabilidade superior, devido à facilidade com o que o fluido atravessa o reforço.

4.3. Determinação da influência do canal de fluxo rápido na permeabilidade

A existência de um canal de fluxo rápido entre a espuma e o reforço pode ser analisada por meio de cálculos e pela observação de frentes de fluxo.

Para tal, foi atribuído diversas dimensões à largura do canal de forma a verificar se estes influenciavam o resultado de permeabilidade. Por meio das equações 1, 8 e 9 foi determinada a respetiva permeabilidade, diâmetro do canal e caudal.

A tabela 10 apresenta as dimensões atribuídos à largura do canal, com o respetivo resultado do caudal e da permeabilidade. Nesta mesma tabela, também é apresentada a permeabilidade de um ensaio escolhido aleatoriamente e o erro relativo às duas permeabilidades.

Tabela 10 - Dimensões atribuídas à largura do canal, valores do caudal volumétrico no canal, permeabilidade obtida pela influência do caudal no canal lateral, valor de permeabilidade de um ensaio escolhido aleatoriamente e erro relativo aos resultados de permeabilidade.

<i>Largura do canal (mm)</i>	<i>Caudal Volumétrico (m³/s)</i>	<i>Permeabilidade influenciada pelo canal (m²)</i>	<i>Permeabilidade de um ensaio (m²)</i>	<i>Erro Relativo (%)</i>
0	0	5,96E-11		11,24
0,5	5,71E-18	5,98E-11	5,29E-11	11,54
1	9,04E-17	6,00E-11		11,83
1,5	4,53E-16	6,02E-11		12,13

Pela análise da tabela 10, verificou-se que não existe uma elevada discrepância entre a permeabilidade obtida pela influencia do fluxo pelo canal lateral com a permeabilidade de um ensaio realizado. O mesmo pode ser observado pelo erro relativo a estas duas permeabilidades, que não é significativo.

Também foi avaliada a influencia do fluxo dos canais laterais pela observação de frentes de fluxo em ensaios realizados, como se pode verificar pela Figura 43.



Figura 43 - Frente de fluxo no final do ensaio de um reforço com configuração plain 205g/m² e 45% de fração volúmica de fibra.

Através da observação da Figura 43, verificou-se que a frente de fluxo do líquido se deslocou de uma forma uniforme ao longo de todo o ensaio. Deste modo e mais uma vez, pode-se afirmar que os canais laterais não influenciam significativamente o resultado da permeabilidade.

4.4. Determinação do erro de medição do permeabilímetro

Cada equipamento possui um erro ou um intervalo de erros. Neste tópico, determinou-se o erro associado a cada ensaio, obtendo-se assim um intervalo.

A tabela 11, apresenta o resultado do erro obtido para cada ensaio, através da equação 13.

Tabela 11 - Valores do erro relativo a cada ensaio.

<i>Tipo de Fibra</i>	<i>Orientação</i>	<i>Fração Volúmica (%)</i>	<i>ERRO (%)</i>
Plain 205g/m ²	0	45	4,88
		50	5,36
	90°	50	5,36
UNI 200 g/m ²	0°	50	4,35
	90°		4,35
UNI 640 g/m ²	0°	50	2,36
	90°		2,36

Como se pode verificar pelos resultados apresentados na tabela 11, o erro do permeabilímetro varia entre 2,36% a 5,36%. Deste modo, pode-se dizer que o equipamento possui um erro no intervalo dos valores referidos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. Conclusões

O intuito deste trabalho foi projetar e construir um permeabilímetro, para determinar a permeabilidade de reforços no plano para compósitos.

Numa primeira fase, desenvolveu-se o equipamento com o auxílio de um software CAD, SolidWorks, e após uma cuidada seleção dos componentes a utilizar deu-se início à sua construção.

Numa segunda e última fase, procedeu-se à determinação da permeabilidade através da Lei de Darcy. Deste modo, foram realizados ensaio que seguiram uma ordem de procedimentos, como a validação do equipamento, seleção do material de reforço, determinação da influência da zona de fluxo rápido na permeabilidade, determinação da permeabilidade e determinação da incerteza de medição do permeabilímetro.

As conclusões mais relevantes derivadas do estudo anterior são as seguintes:

- I. Após a construção do permeabilímetro, verificou-se que este corresponde aos requisitos. Sobretudo, no que diz respeito à vedação do sistema através de uma espuma EPDM de célula fechada e ao sistema de elevação da placa de acrílico que permitiu uma maior rapidez na colocação dos reforços.
- II. O processo de validação ao qual o equipamento esteve sujeito, foi avaliado com sucesso, pois, obteve-se uma relação de escala entre os valores teóricos e experimentais.
- III. Na condição 1, verificou-se uma diminuição da permeabilidade quando se variou a orientação do reforço de 0° para 45°. Devido, à orientação do reforço a 45° oferecer uma maior resistência ao fluxo.

- IV. Na condição 2, observou-se que a permeabilidade diminui com o aumento da fração volúmica de fibras, pois quanto mais compacto for o reforço menor será a sua permeabilidade.
- V. Na condição 3 e 4, verificou-se uma diminuição da permeabilidade quando se variou a orientação do reforço de 0° para 90°, uma vez que os últimos se encontram perpendiculares ao fluxo dificultando a sua passagem. Comparando a permeabilidade a 90° da condição 3 com a de 90° da condição 4, verificou-se que esta é ainda mais baixa devido à utilização de uma fibra com uma maior gramagem, 640g/m², o que dificultou o fluxo.
- VI. Uma vez atribuídas diferentes dimensões à largura do canal de fluxo rápido, verificou-se que estas não influenciaram os resultados de permeabilidade.
- VII. Em cada ensaio realizado, foi determinado o erro do permeabilímetro e observou-se que existe um erro que varia entre 2,36 e 5,36%. Deste modo, conclui-se que o equipamento possui um erro no intervalo dos valores referidos.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Para concluir esta dissertação de mestrado, apresenta-se nesta seção algumas sugestões para dar continuidade ao presente trabalho.

- I. Em primeiro lugar recomenda-se a alteração do modo como é realizada a elevação da placa de acrílico, pois esta recorre a uma chave de roquete. Contudo, esta tem de fixada com grampos devido ao efeito de mola que é provocado pela pressão das placas enquanto decorre um ensaio.
- II. Também é sugerido a utilização de um recipiente de grandes dimensões para o fluido utilizado, a fim de evitar oscilações e quedas de pressão quando há troca de recipiente.
- III. Propõe-se o estudo da permeabilidade na transversal.
- IV. Utilização de um diferencial de pressão com capacidade para obter pressões mais elevadas.
- V. Estudar a influência da variação da viscosidade na permeabilidade.
- VI. Estudar a influência da variação da pressão de injeção na permeabilidade.
- VII. Estudar a influência da variação do número de camadas na permeabilidade.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J., S., *Pré-impregnados de matriz termoplástica*, in *Engenharia Mecânica* 2005, Faculdade de Engenharia do Porto.
- [2] R., F., *Produção de componentes em materiais compósitos por infusão de resina*, in *Engenharia e Arquitetura Naval* 2008, Universidade Técnica de Lisboa
- [3] [cited 2012 10 Maio]; Porous Materials]. Available from: <http://www.pmiapp.com/products/permeameters.html>.
- [4] [cited 2012 11 Maio]; Industria Têxtil e do Vestuário]. Available from: <http://textileindustry.ning.com/forum/topics/permeabilidade-de-nao-tecidos-como-medida-de-eficiencia-em-filtra>.
- [5] J., Y.B.a.L. *A Simplified In-Plane Permeability Model for Textile Fabrics* 2000. **21**.
- [6] M., L. *In-Plane Permeability Measurements*.
- [7] al, G.P.R.e. *The effect of reinforcement architecture on the long-range flow in fibrous reinforcements* 1995. **6**.
- [8] [cited 2012 11 Maio]; Bastos]. Available from: http://www.bastoscia.com/textest/textest_productes.php.
- [9] [cited 2012 11 Maio]; Mestrado em Design e Marketing]. Available from: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7620/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- [10] M., A., *Avaliação da aplicabilidade de ensaios para laboratório e critérios de filtros para a utilização de geotêxtis em solos do distrito federal* in *Departamento de Engenharia Civil* 1995, Universidade de Brasília.
- [11] J., N., *Estudio de la eficiencia del acabado con resinas de fluocarbono en las propiedades de hidro y leo-repelencia de tejidos* in *Engenharia Têxtil* 2006, Escuela Superior de Ingeniería Textil Ciudad de Mexico
- [12] M., A., *Avaliação da aplicabilidade de ensaios de laboratório e critérios de filtros para utilização de geotêxtis em solos do distrito federal*, in *Engenharia Civil* 1995, Universidade de Brasília/DF.
- [13] L., G., *Geotêxteis e suas aplicações* 2001, Universidade da Beira Interior
- [14] F., F. *European and international geotextil standards* 2009. Bruxelles

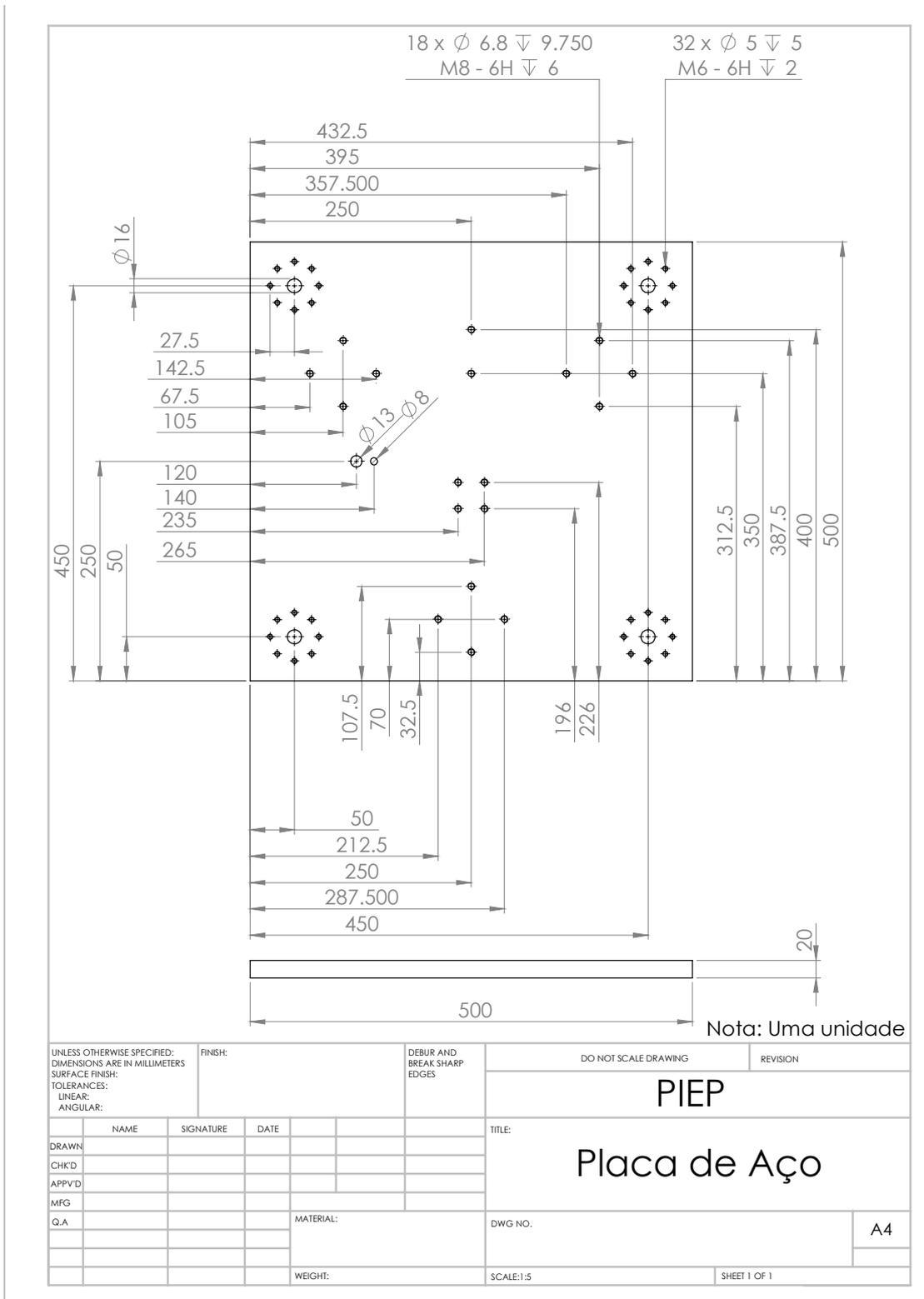
- [15] L., G., *Geotêxteis e suas aplicações* in *Departamento de Engenharia Civil* 2001, Universidade da Beira interior: Covilhã.
- [16] [cited 2013 13 Janeiro]; Labthink]. Available from: <http://pt.labthink.cn/product/info-1012300.html>.
- [17] Labthink. [cited 2013 15 Janeiro]; Available from: <http://upload.labthink.cn/Attachments/2011/Document/TSY-W1-pt.pdf>.
- [18] [cited 2013 11 Maio]; Quality Control Instruments]. Available from: http://www.metrotec.es/metrotec/WWW_DOC/6614_TSYW1-1-CAT-E-R1.PDF.
- [19] [cited 2013 14 Maio]; Materiais Compósitos]. Available from: http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/15391/15391_3.PDF.
- [20] UFMG. [cited 2012 16 de Maio]; Available from: <http://www.demet.ufmg.br/docentes/rodrigo/compositos.htm>.
- [21] J., B., *Advanced Polymer Composites: Principles and Applications* 1994, USA: Copyright
- [22] F., S., *Estudo do processamento de compósitos termoplásticos a partir de pré-impregnados PEEK/fibra de carbono por moldagem por compressão a quente*, in *Engenharia Mecânica* 2010, Universidade de Taubaté São Paulo.
- [23] N.P., C., *Fiberglass Reinforced Plastics* 1995, USA Noyes Publications
- [24] R., J.F., *Handbook of Polymer-Fiber Composites* 1994: Longman Group UK
- [25] al, S.T.M.e., *Avaliação de mantas de sisal utilizadas como promotor de fluxo na moldagem por RTM de reforços de fibra de vidro*, in *11º Congresso Brasileiro de Polímeros* 2011: Campos do Jordão-SP
- [26] P., F., *Estudo sobre a furação de compósito de resina epóxi reforçado com fibras de vidro*, in *Departamento em Engenharia Mecânica* 2007, Universidade Federal de Minas Gerais
- [27] [cited 2013 16 Maio]; Lility Cosolay.com]. Available from: <http://www.lilithycosplay.com/tutoriais/57-fibra-de-vidro.html>
- [28] [cited 2012 16 Maio]; ebah]. Available from: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABFqgAL/fiberglass>.
- [29] [cited 2012 17 Maio]; Vivian Regina]. Available from: <http://www.vivianregina.com/port/grp-applications.php>.
- [30] LIU Q., P.R.a.G.H. *New set-up for in-plane permeability measurement* 2006. **Parte A.**
- [31] J., M. *Production of class-8truck trailer bed using cPBT thermoplastic prepreg e Vacuum-bag processing*
- [32] M., G., *Incerteza de Medição* 1994.
- [33] *Introdução ao cálculo de erros nas medidas de grandezas físicas*, 2003/2004.

- [34] al, F.T.e., *Medição e Propagação de erros* 2009, Universidade Estadual Londrina
- [35] *Guia para a quantificação de incerteza em ensaios químicos*, in *OGC007*, I.-I.P.d. acreditação, Editor 2007.
- [36] SKF. [cited 2012 12 Dezembro]; Available from: <http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/ball-bearings/thrust-ball-bearings/index.html>.

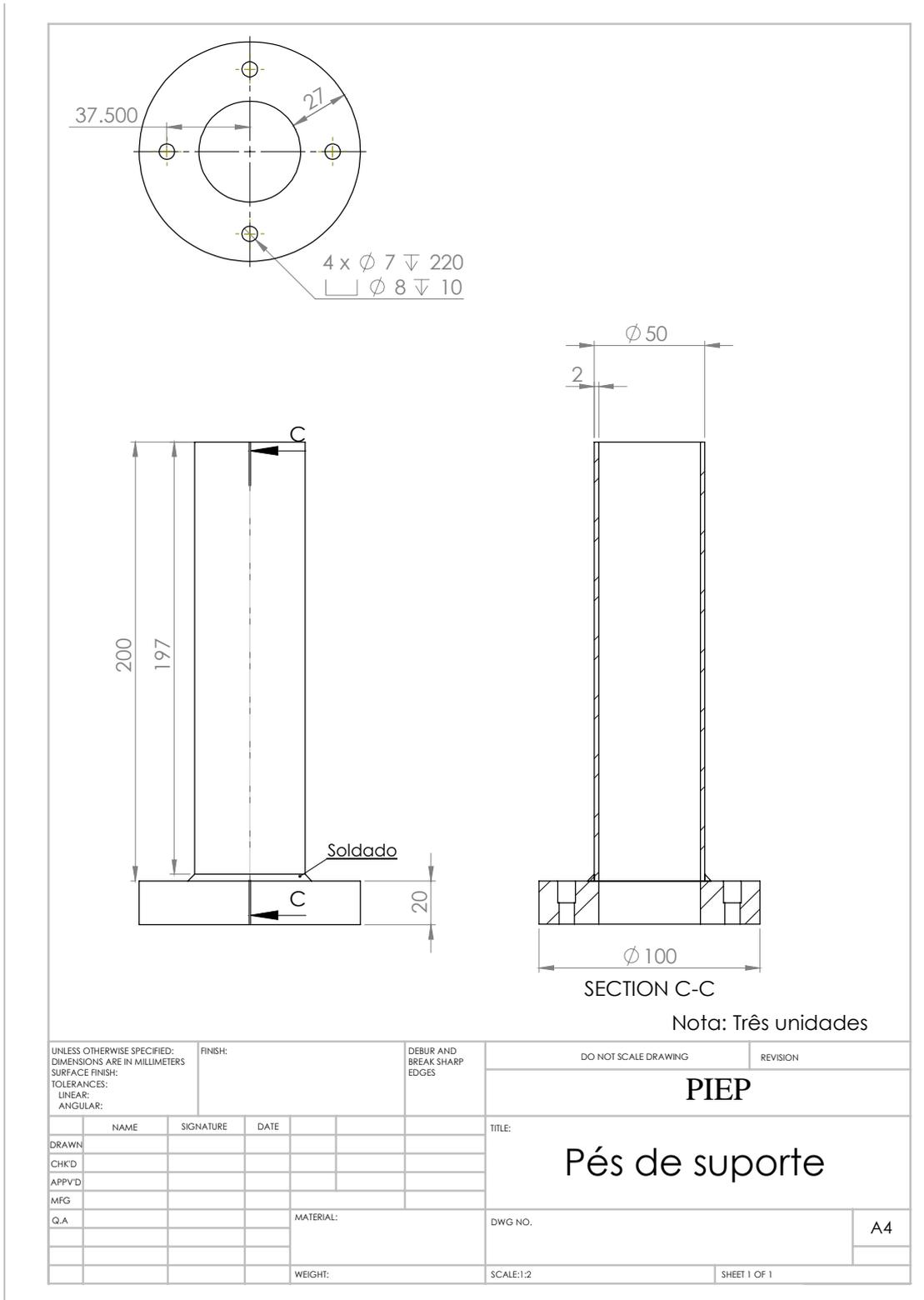
ANEXO I

Lista de componentes

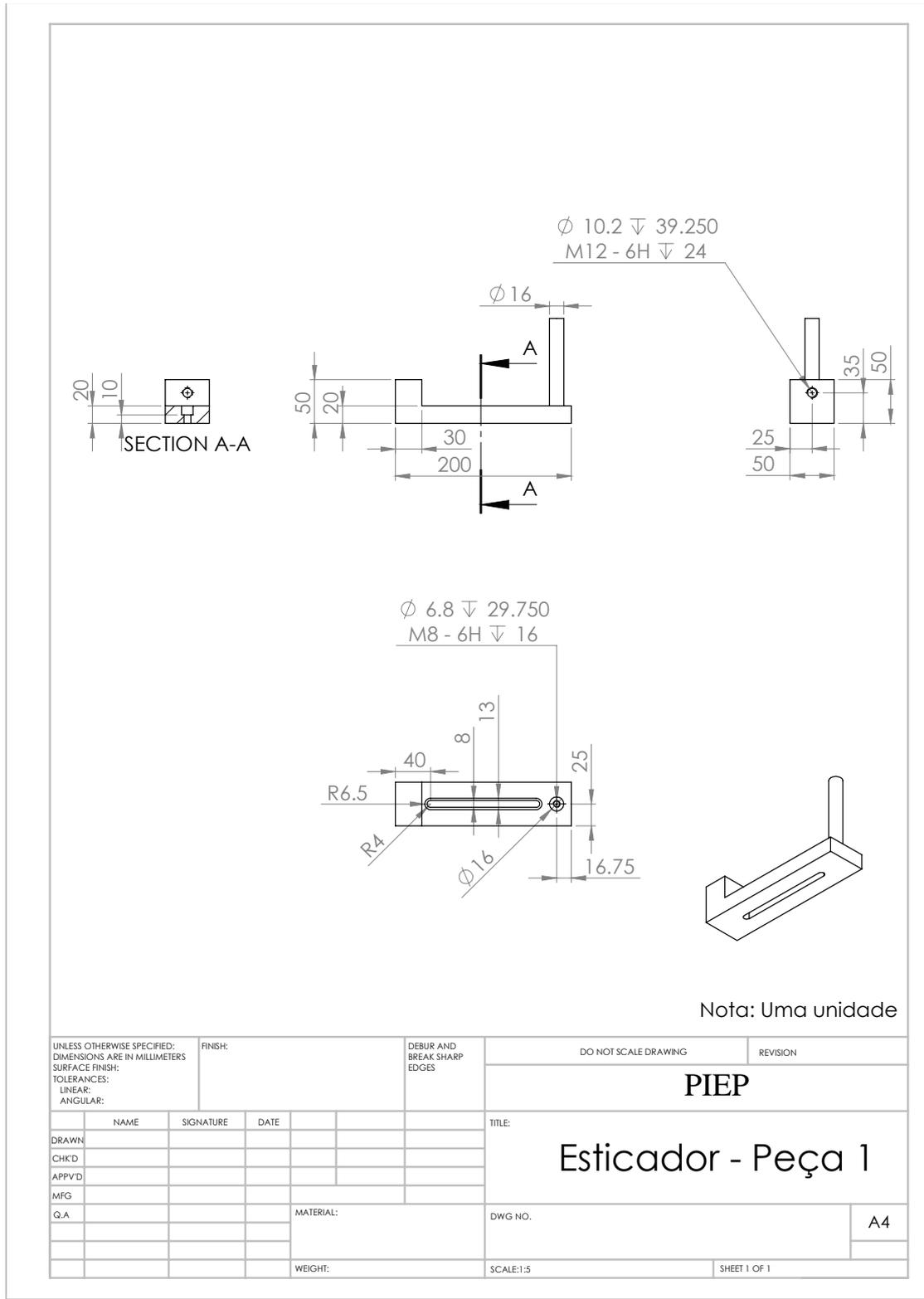
Placa de aço – 2D



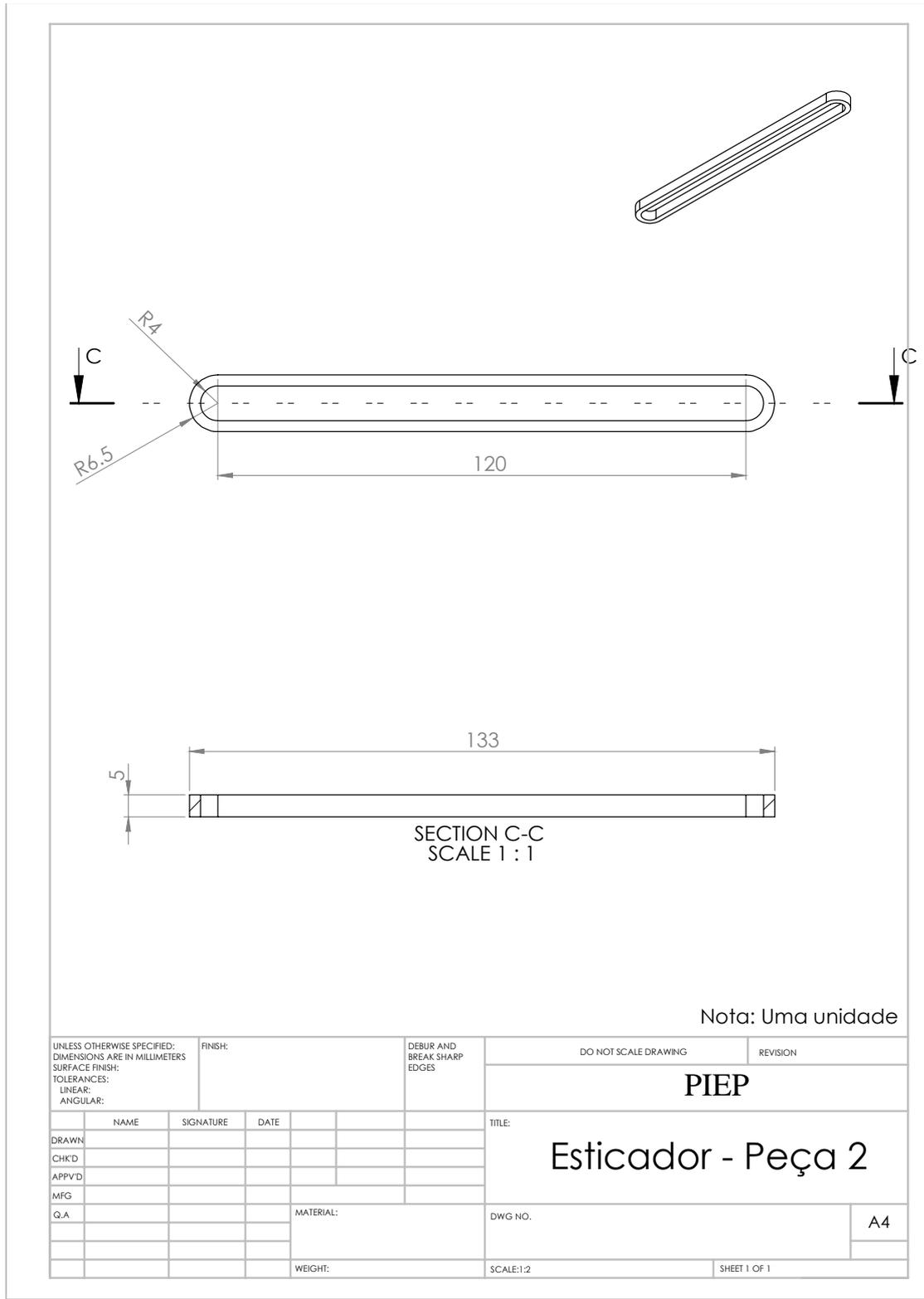
Pés de suporte – 2D



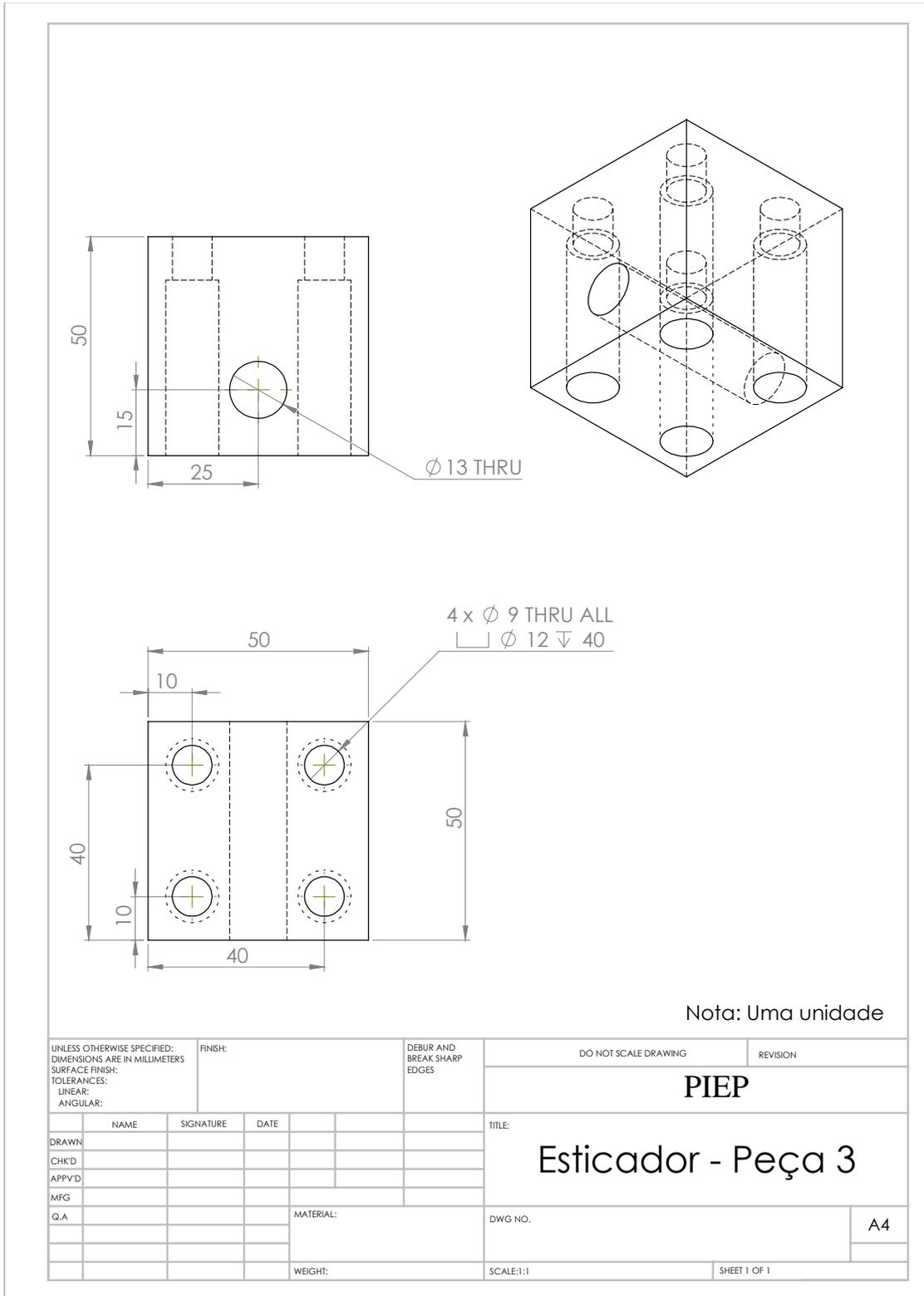
Esticador – Peça 1



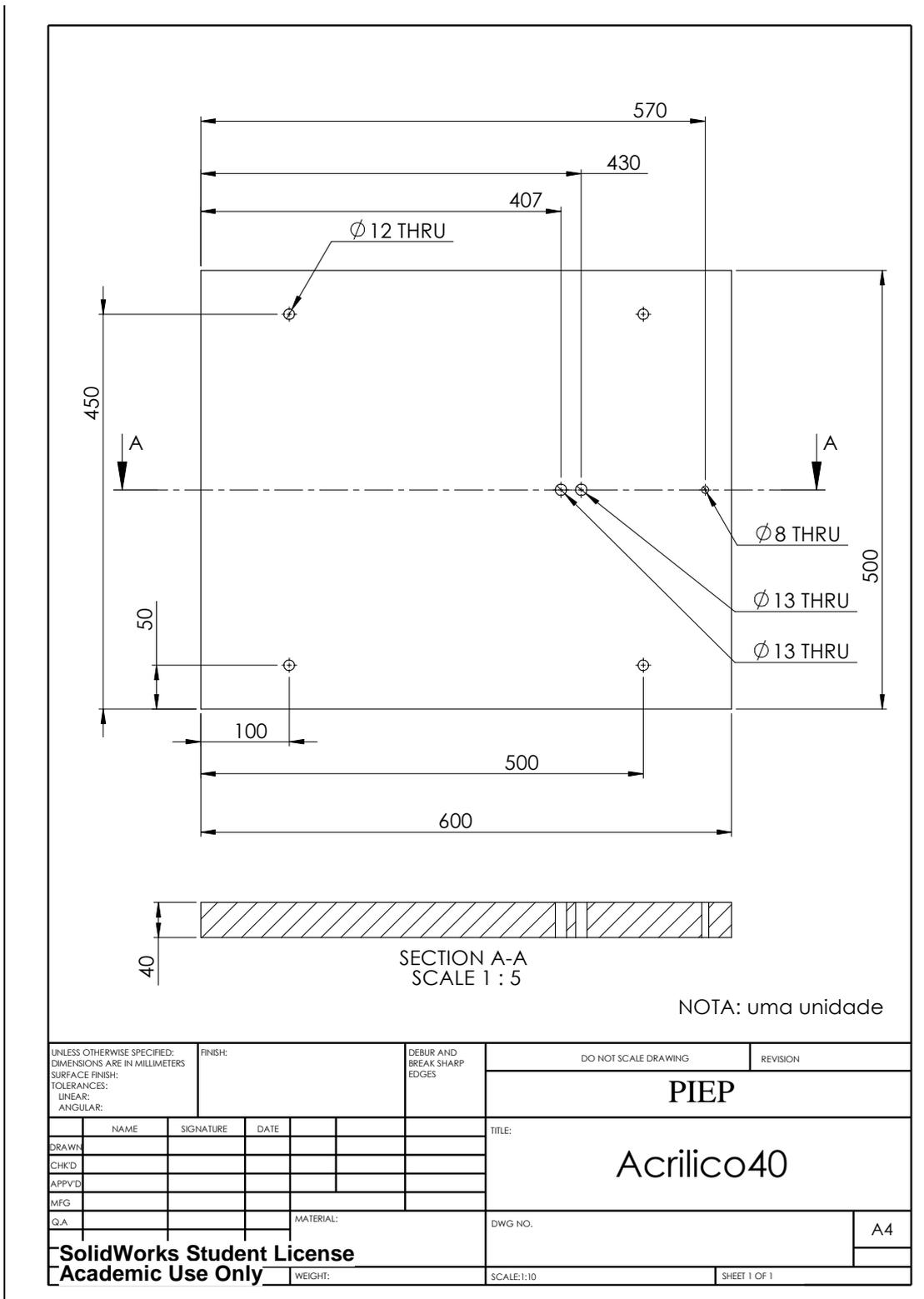
Esticador – Peça 2



Esticador – Peça 3



Placa de acrílico – 2D



 Flexicel Portugal UNIPessoal-LDA	FICHA TÉCNICA DE MATERIAIS
--	-----------------------------------

EPDM 130 NEGRO

DATA REVISÃO: 11.05.2012

REVISÃO: 01

Ensaio/Propriedades	Dado ou Valor Máximo	Valor Mínimo	Unidade Medida	Método/Norma
Base (Composição)	EPDM			
Estrutura Celular	Célula Fechada			
Densidade	140	100	kg/m ³	ASTM D1056
Resistência à Tração	380		kPa	ASTM D412
Alongamento	180		%	ASTM D412
Resistência à Compressão a 25% Deformação	50	30	kPa	ASTM D1056
Resistência à Compressão a 50% Deformação	160	80	kPa	NF R 99211
Deformação Permanente 22h, 20°C, 50% Def.	<25		%	ASTM D1056
Deformação Permanente 22h, 23°C, 25% Def. (após 0.5h)	7.93		%	UNE EN ISO 1856
Deformação Permanente 22h, 23°C, 25% Def. (após 24h)	2.72		%	UNE EN ISO 1856
Gama de Temperatura de Trabalho	+90	-40	°C	
Temperatura Máxima Intermitente	+100		°C	
Absorção de Água	<1		Vol. %	
Dureza Shore " 0"	42	28	nº	
Resistência ao Ar+U.V.	Excelente			ASTM D1056

Os dados fornecidos na presente Ficha Técnica foram obtidos pelo nosso fornecedor ou pelo Grupo Flexicel (*). Em nenhum caso constituem garantia jurídica quanto às propriedades e/ou funcionalidade da aplicação do material.

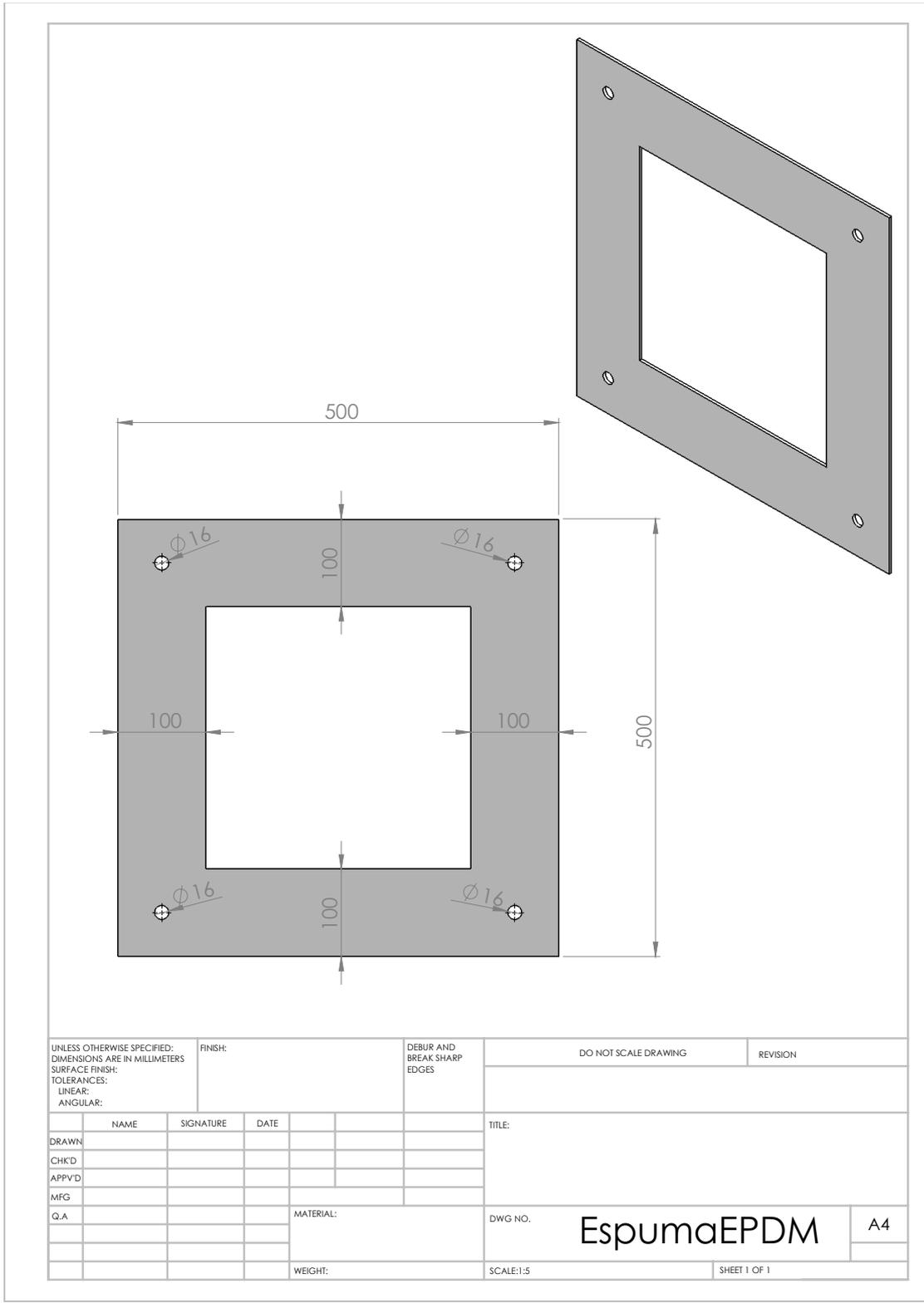


FLEXICEL PORTUGAL, UNIPessoal-LDA.
 Parque Industrial de Sequeira, Pav. 8,9,10 AIB
 4705-629 Braga PORTUGAL
 Tel.: (+351) 253 287 201 | Fax: (+351) 253 287 200
 flexicelportugal@grupoflexicel.com

FLEXICEL INDUSTRIAL, S.L.
 (Sociedad Unipersonal)
 Pol. Ind. Can Comelles, C/ Formal, 41-43
 Apdo. Correos 233 - 08792 Esparreguera - Barcelona - España
 Tel.: (+34) 937 776 727 | Fax: (+34) 937 776 137
 flexicelindustrial@grupoflexicel.com

QUA-15.03

Espuma EPDM – 2D



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE				TITLE:			
CHKD											
APPV'D											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO. EspumaEPDM	
										A4	
								WEIGHT:		SCALE:1:5	
										SHEET 1 OF 1	

ANEXO II

Características dos equipamentos

Viscosímetro Selecta, STS-2011 L



Viscosímetros rotacionales de amplio rango "STS-2011"

MODELO CON LECTURA DE TEMPERATURA Y MEDIDA DEL SHEAR RATE.

NUEVO



CARACTERÍSTICAS

Lectura directa de los parámetros de medida en pantalla L.C.D.
 10 opciones de idioma de trabajo.
 Visualización de parámetros:
 - Velocidad seleccionada.....r.p.m.
 - Husillo seleccionado
 - Lectura de la viscosidad.....cP (mPa-s) ó cSt
 - Porcentaje del fondo de escala.....%
 - Temperatura de la muestra°C ó °F
 - Ratio de deformación (con husillos especiales).
 - Fuerza de torsión (con husillos especiales).
 - Densidad (debe ser entrada por el usuario)g/cm³
 El equipo determina viscosidad relativa y viscosidad absoluta.
 Cambio de unidades S.I. a C.G.S.
 Chequeo automático del funcionamiento correcto mediante barrido a diferentes velocidades.
 Autocontrol de alarma sonora y visual en caso de mal funcionamiento.
 Detección e indicación de "fuera de escala" mediante señal acústica y visual.
 Decrecimiento progresivo de la velocidad al parar, evitando vibraciones de husillo.
 Calibrable por el mismo usuario.
 18 velocidades preseleccionadas desde 0,3 a 100 r.p.m.
 Puerto USB.

El usuario puede seleccionar por si mismo otras diferentes velocidades dentro de este margen.
 Protección de seguridad contra subidas del suministro eléctrico.
 10 memorias de trabajo.

DATOS TÉCNICOS

Rango de temperatura °C: desde 0,0 °C a +100,0 °C (+32,0 °F a +212,0 °F).
 Resolución temperatura °C: 0,1 °C (0,1722 °F).
 Precisión °C: ±0,1 °C.
 Tipo de sonda: Pt 100.
 Lectura directa en cP (mPa-s) en los modelos STS-2011 L y R.
 Lectura en Poise (Pa-s) en el modelo STS-2011 H.
 Precisión: ±1% del fondo de escala.
 Rango de medida: ver tabla.
 Repetibilidad: 0,2%.
 El equipo básico incluye:
 - Maletín de transporte antichoque.
 - Unidad principal.
 - Soporte pie-base.
 - Protector de husillo.
 - Soporte de husillos.
 - Juego de husillos según modelo (ver tabla).



MODELOS	Código	Rango de medición	Husillos estándar	Tensión alimentación	Consumo W	Peso Kg
STS-2011 L	1001611	20 a 2.000.000 cP	L1, L2, L3, L4	100-240 V 50/60 Hz	15	5
STS-2011 R	1001612	100 a 13.000.000 cP	R2, R3, R4, R5, R6, R7	100-240 V 50/60 Hz	15	5
STS-2011 H	1001613	200 a 106.000.000 cP	R2, R3, R4, R5, R6, R7	100-240 V 50/60 Hz	15	5

ACCESORIOS

Husillo R1 para la medida de bajas viscosidades adaptable a los viscosímetros modelos R y H.
 Código **1000990**

Adaptador para medir pequeño volumen de muestra (APM).
 Permite medir la viscosidad de un volumen de la muestra de 8 a 13 ml.
 Necesita del juego de husillos especiales "TL" o "TR"
 Rango de temperatura de 0 °C a 100 °C.
 Código **1000986** Adaptador APM con cámara de circulación.
 Código **1001623** Sonda de temperatura adaptable a los APM.

Husillos especiales.
 Código **1001224** Juego de husillos TL5 - TL6 - TL7 para modelos L.
 Código **1001225** Juego de husillos TR8 - TR9 - TR10 - TR11 para modelos R y H.

Adaptadores para medir bajas viscosidades (LCP).
 Indispensable para conseguir mediciones en muestras de baja viscosidad.
 Reproducibilidad de medidas de viscosidad desde 1 cP.
 Adaptable a los modelos L y R.
 Volumen de muestra entre 16 y 18 ml.
 Incluye husillo especial LCP.
 Código **1000985** Adaptador LCP con cámara de circulación.
 Código **1001624** Sonda de temperatura adaptable a los LCP.

Adaptador de desplazamiento helicoidal.
 Necesario para las sustancias con escasa fluidez
 Código **1000988**



Husillo R1. Código **1000990**



Código **1000985**



Código **1000986**



Código **1000988**

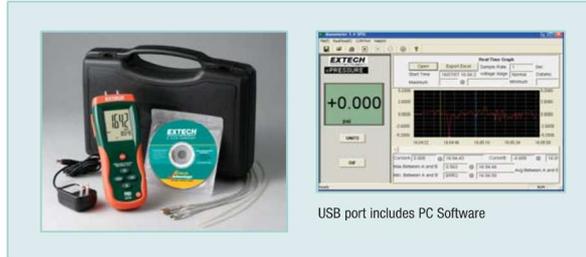


Differential Pressure Manometers

11 selectable units
Low Range/High Resolution Gauge or Differential Pressure

Features:

- Three models to choose from:
 - HD700 (± 2 psi range)
 - HD750 (± 5 psi range)
 - HD755 (± 0.5 psi range)
- 11 selectable units of measure
- Max/Min/Avg recording and Relative time stamp
- Data Hold and Auto power off functions
- Large LCD display with backlighting
- Zero function for offset correction or measurement
- Built-in USB (software and cable included)
- USB port includes software
- Includes Windows® compatible software with cable, 9V battery, two connection hoses, 100V-240V switching AC Adaptor, and hard carrying case



Specifications	Model HD700 Range	Resolution	Model HD750 Range	Resolution	Model HD755 Range	Resolution	Basic Accuracy
inH ₂ O	55.40inH ₂ O	0.01inH ₂ O	138.3inH ₂ O	0.1inH ₂ O	13.85inH ₂ O	0.01inH ₂ O	$\pm 0.3\%$ FS
psi	2psi	0.001psi	5psi	0.001psi	0.5psi	0.001psi	$\pm 0.3\%$ FS
mbar	137.8mbar	0.1mbar	344.7mbar	0.1mbar	34.47mbar	0.01mbar	$\pm 0.3\%$ FS
kPa	13.79kPa	0.01kPa	34.47kPa	0.01kPa	3.447kPa	0.001kPa	$\pm 0.3\%$ FS
inHg	4.072inHg	0.001inHg	10.18inHg	0.01inHg	1.018inHg	0.001inHg	$\pm 0.3\%$ FS
mmHg	103.4mmHg	0.1mmHg	258.5mmHg	0.1mmHg	25.86mmHg	0.01mmHg	$\pm 0.3\%$ FS
ozin ²	32ozin ²	0.01ozin ²	80ozin ²	0.01ozin ²	8.00ozin ²	0.01ozin ²	$\pm 0.3\%$ FS
ftH ₂ O	4.612ftH ₂ O	0.001ftH ₂ O	11.53ftH ₂ O	0.01ftH ₂ O	1.154ftH ₂ O	0.001ftH ₂ O	$\pm 0.3\%$ FS
cmH ₂ O	140cmH ₂ O	0.1cmH ₂ O	351.5cmH ₂ O	0.1cmH ₂ O	2.59cmH ₂ O	0.01cmH ₂ O	$\pm 0.3\%$ FS
kgcm ²	0.140kgcm ²	0.001kgcm ²	0.351kgcm ²	0.001kgcm ²	0.035kgcm ²	0.001kgcm ²	$\pm 0.3\%$ FS
bar	0.137bar	0.001bar	0.344bar	0.001bar	0.034bar	0.001bar	$\pm 0.3\%$ FS
Dimensions/Weight	8.2 x 2.9 x 1.9" (210 x 75 x 50mm)/9.8oz (280g)						

Ordering Information:

- HD700Differential Pressure Manometer 2psi
- HD750Differential Pressure Manometer 5psi
- HD755Differential Pressure Manometer 0.5psi
- HD700-NIST ..HD700 with NIST Certificate
- HD750-NIST ..HD750 with NIST Certificate
- HD755-NIST ..HD755 with NIST Certificate



www.extech.com

Specifications subject to change without notice. Copyright © 2008 Extech Instruments Corporation. All rights reserved including the right of reproduction in whole or in part in any form. 7/17/08 - R1

Series ARP20/30/40

Specifications

Model			ARP20(K)	ARP30(K)	ARP40(K)
Port size			1/8, 1/4	1/4, 3/8	1/4, 3/8, 1/2
Fluid			Air		
Proof pressure			1.2 MPa		
Max. operating pressure			0.7 MPa		
Set pressure range ^{Note 1)}	For 0.4 MPa setting	Ex.) ARP30-02BG	0.005 to 0.4 MPa		
	For 0.2 MPa setting	Ex.) ARP30-02BG-1	0.005 to 0.2 MPa		
	For 0.6 MPa setting	Ex.) ARP30-02BG-3	0.008 to 0.6 MPa		
Sensitivity			Within 0.2% F.S.		
Repeatability ^{Note 2)}			Within ±1% F.S. (or ±3 kPa)		
Air consumption	For 0.4 MPa setting	Ex.) ARP30-02BG	1 <i>l</i> /min (ANR) or less (at P2 = 0.4 MPa)		
	For 0.2 MPa setting	Ex.) ARP30-02BG-1	0.6 <i>l</i> /min (ANR) or less (at P2 = 0.2 MPa)		
	For 0.6 MPa setting	Ex.) ARP30-02BG-3	1.4 <i>l</i> /min (ANR) or less (at P2 = 0.6 MPa)		
Pressure port size ^{Note 3)}			1/8	1/8	1/4
Ambient and fluid temperature			-5 to 60°C (No freezing)		
	With digital pressure switch	Ex.) ARP30-02BE1	-5 to 50°C (No freezing)		
Construction			Bleed type		
Weight (kg) ^{Note 4)}			0.2	0.3	0.5

Note 1) When a product with backflow function (ARP20K to 40K) is chosen, set the inlet pressure 0.05 MPa or higher than the set pressure.

Note 2) For the type set to 0.2 MPa only, repeatability will be within ±3 kPa.

Note 3) Port thread is not provided for products with square embedded-type pressure gauges.

Note 4) Weight shown is for product without any options.

Comparador Mitutoyo Absoluto 543-464B

Standard Type

FEATURES

Tolerance judgment

- GO/±NG judgment can be performed by setting upper and lower tolerance limits. The judgment result (GO/±NG) can be displayed in full-size characters.

Technical Data

- Display: LCD (indicator face: 330° rotation)
- Functions: Origin set (preset), Power on/off, Zero setting, Counting direction switching, GO/±NG judgment, inch/mm conversion (inch/mm type), SPC data output
- Battery: SR44 (1pc.) (938882)
- Battery life: 5,000 hours in continuous use
- Stem diameter: 3/8" (ANSI/AGD type) or 8mm (ISO/JIS type)
- Contact point: Carbide ball (ISO/JIS type) or steel ball (ANSI/AGD type)
- Measuring force: 1.5N/0.9N* or less (.5"/12.7mm range models), 1.8N or less (1"/25.4mm range models), 2.3N or less (2"/50.8mm range models)
- *543-270/543-270B/543-271/543-271B/543-272/543-272B
- Dust-water protection level: Conforming to IP42
- Alarm: Low battery voltage, Scale contaminations, Over flow error, Tolerance limit setting error
- Operating temperature: 0°F to 104°F (0°C to 40°C)
- Mass: .35 lbs./160g (.5"/12.7mm range models), .42 lbs./190g (1"/25.4mm range models), .62 lbs./280g (2"/50.8mm range models)

Specifications (ISO/JIS type)

Order No.	Accuracy	Resolution	Range	
Back w/flug	Flat-back			
543-250	543-250B	0.003mm	0.001mm	12.7mm
-	543-450B	0.003mm		25.4mm
-	543-460B	0.006mm		50.8mm
543-290	543-290B	0.005mm	0.01mm	12.7mm
543-270	543-270B	0.02mm		
-	543-457B	0.005mm		25.4mm
-	543-454B	0.03mm		
-	543-464B	0.04mm		50.8mm
543-251	543-251B	.00012"	.00005"/0.001mm	.5"/12.7mm
-	543-451B	.00012"		1"/25.4mm
-	543-461B	.00025"		2"/50.8mm
543-291	543-291B	.0002"	.0005"/0.01mm	.5"/12.7mm
543-271	543-271B	.0008"		
-	543-458B	.0002"		1"/25.4mm
-	543-455B	.0012"		
-	543-465B	.0016"		2"/50.8mm

Specifications (ANSI/AGD type)

Order No.	Accuracy	Resolution	Range	
Back w/flug	Flat-back			
543-252	543-252B	.00012"	.00005"/0.001mm	.5"/12.7mm
-	543-452B	.00012"		1"/25.4mm
-	543-462B	.00025"		2"/50.8mm
543-253	543-253B	.00012"	.0001"/0.001mm	.5"/12.7mm
-	543-453B	.00012"		1"/25.4mm
-	543-463B	.00025"		2"/50.8mm
543-292	543-292B	.0002"	.0005"/0.01mm	.5"/12.7mm
543-272	543-272B	.0008"		
-	543-459B	.0002"		1"/25.4mm
-	543-456B	.0012"		
-	543-466B	.0016"		2"/50.8mm

Balança Denver Instrument SI-4002

Specifications for Individual Models

Model		SI-6002 S-6002	SI-4002 S-4002	SI-2002 S-2002	SI-602 S-602	SI-402 S-402
Weighing capacity	g	6000	4000	2000	600	400
Readability	g	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Tare range (subtractive)	g	6000	4000	2000	600	400
Repeatability (std. deviation)	<± g	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Linearity	<± g	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Response time (average)	s	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
Sensitivity drift within +10 to +30°C	≤±/K	2 · 10 ⁻⁶	2 · 10 ⁻⁶	2 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻⁶
Adaptation to ambient conditions		By selection of 1 of 4 optimized filter levels; display update: 0.1–0.4 (depends on filter level selected)				
External calibration weight (of at least accuracy class...)	g	5000 (E2)	2000 (E2)	2000 (F2)	500 (F2)	200 (F2)
Net weight, approx.:		3.5 3.1 kg, 7.7 6.8 lb			2.6 2 kg, 5.7 4.4 lb	
Weighing pan size		180 × 180 mm, 7.1 × 7.1 in.			150 Ø mm, 5.91 Ø in.	
Dimensions (W × D × H)		230 × 303 × 91 mm, 9.1 × 11.9 × 3.58 in.			230 × 303 × 87 mm, 9.1 × 11.9 × 3.4 in.	

ANEXO III

Procedimento da determinação da viscosidade

O procedimento para a determinação da viscosidade pode ser descrito pelos seguintes passos:

1. Liga-se o viscosímetro e no ecrã aparece um menu de AUTOTEST, clica-se em “enter” para ser efetuado uma verificação do funcionamento do viscosímetro. Este teste deve-se realizar sem spindle;
2. Deve-se utilizar um material adequado (nesta caso água e glicerina) controlando a temperatura ambiente.
3. Proceda-se à escolha do spindle e da velocidade de rotação deste. O manual do viscosímetro contém uma tabela onde se pode proceder à escolha do spindle e da sua velocidade de rotação de acordo com a viscosidade aparente.
Cada combinação de spindle/velocidade (rpm) estabelece uma escala de medição do viscosímetro. Spindles grandes, números 1 e 2, são usados para medir valores de baixa viscosidade e spindles pequenos, números 3 e 4, são usados para medir valores de elevada viscosidade. Velocidades elevadas, utilizam-se para medir valores de baixa viscosidade e velocidades baixas, utilizam-se para medir valores de elevada viscosidade. Tendo em conta estes efeitos cada combinação velocidade/spindle tem uma escala de medição do viscosímetro;
4. Após a escolha da combinação velocidade/spindle coloca-se o gobelé debaixo do viscosímetro, baixa-se a unidade principal deste até que a marca do spindle esteja ao nível do líquido;
5. A partir do menu principal seleciona-se “medidas” para entrar no menu de configuração da medida e coloca-se o número do spindle, a velocidade de rotação e a densidade da solução. Posteriormente, o equipamento procede à medição da viscosidade.

Como foi referido anteriormente, utiliza-se uma mistura de dois líquidos, que por sua vez possuem densidades diferentes. Na colocação dos dados precisos para este equipamento operar é necessário a densidade da solução referida acima. Deste modo, esta pode ser determinada através da seguinte equação da densidade das misturas.

$$\rho_f = \frac{(\rho_1 \times v_1) + (\rho_2 \times v_2)}{v_1 + v_2} \quad (5)$$

Onde,

ρ_f : Densidade final (g/cm³)

ρ_1 : Densidade do primeiro líquido (g/cm³)

ρ_2 : Densidade do segundo líquido (g/cm³)

v_1 : Volume do primeiro líquido (ml)

v_2 : Volume do segundo líquido (ml)

ANEXO IV

Gráficos do gradiente de pressão

Tabela dos resultados do gradiente de pressão

Plain 205g/m², 0°, VF=45%

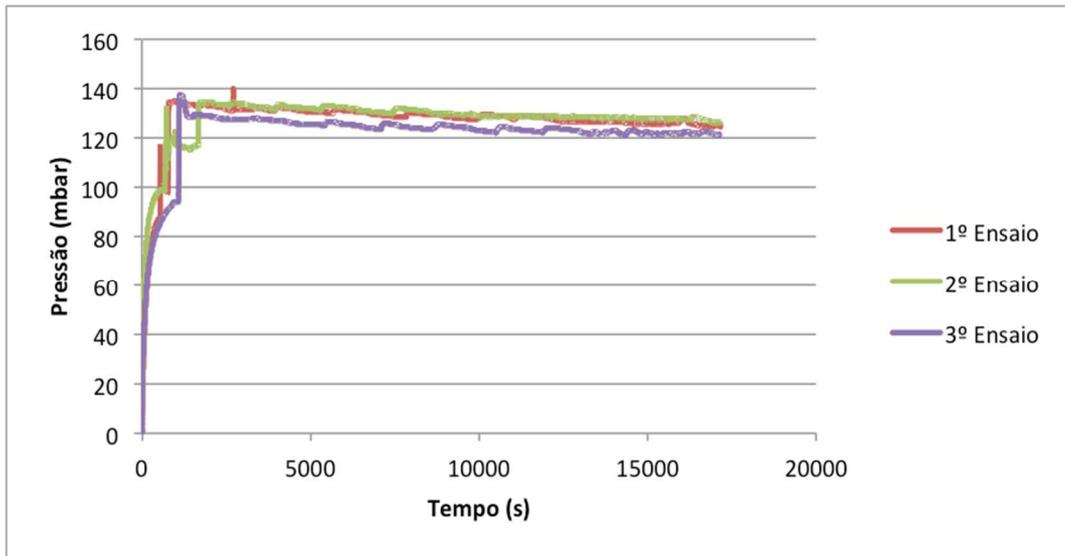


Figura III. 1 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=45%.

1º ensaio no intervalo entre 3000 e 10000s.

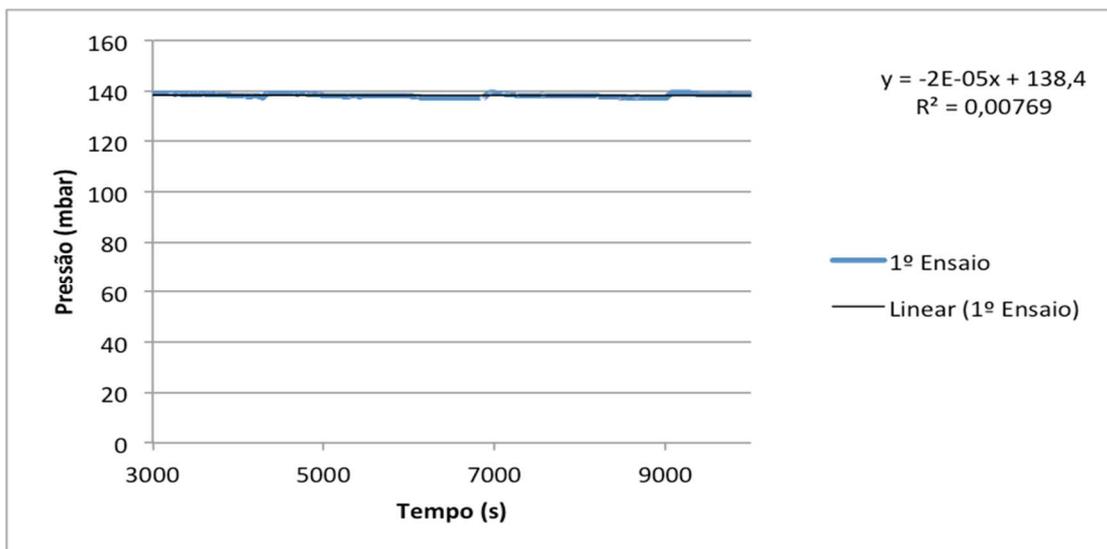


Figura III. 2 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=45% no intervalo entre 3000 e 10000s.

2º ensaio no intervalo entre 9000 e 16000s.

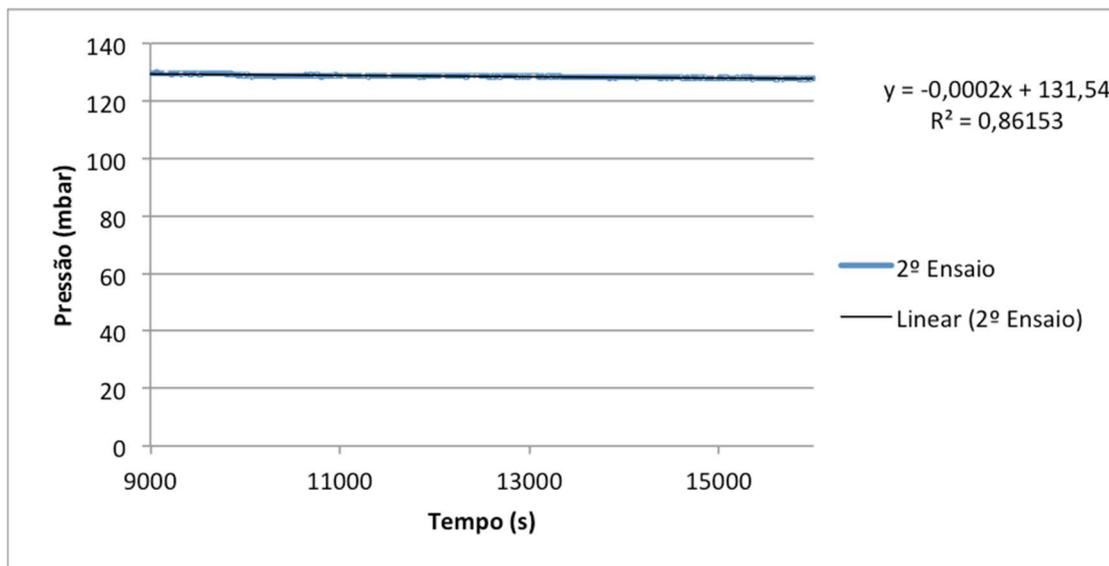


Figura III. 3 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=45% no intervalo entre 9000 e 16000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 17000s.

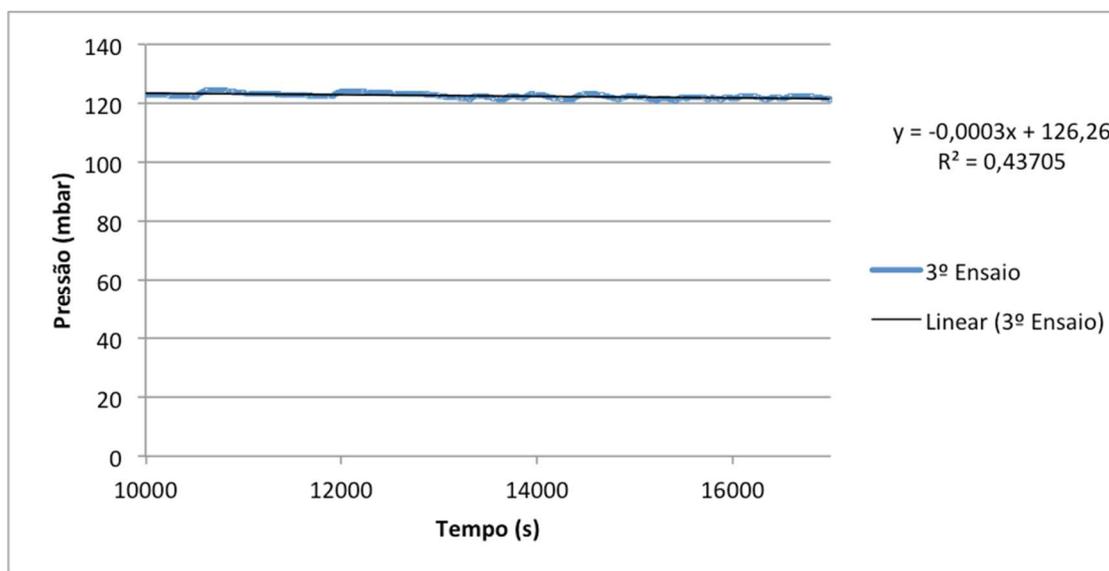


Figura III. 4 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=45% no intervalo entre 10000 e 17000s.

Plain 205g/m², 0°, VF=50%

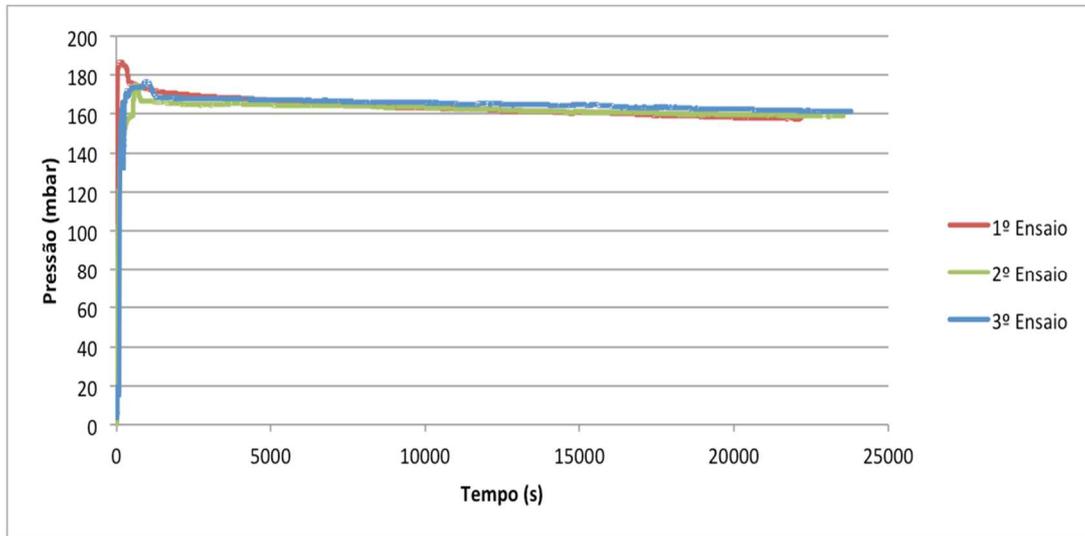


Figura III. 5 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 12000 e 17000s.

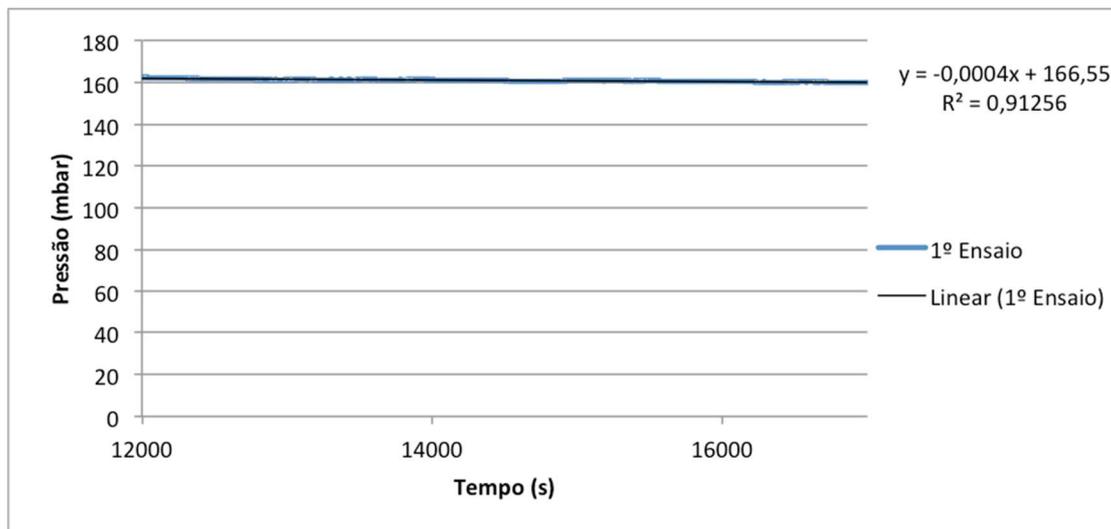


Figura III. 6 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 12000 e 17000s.

2º ensaio no intervalo entre 15000 e 20000s.

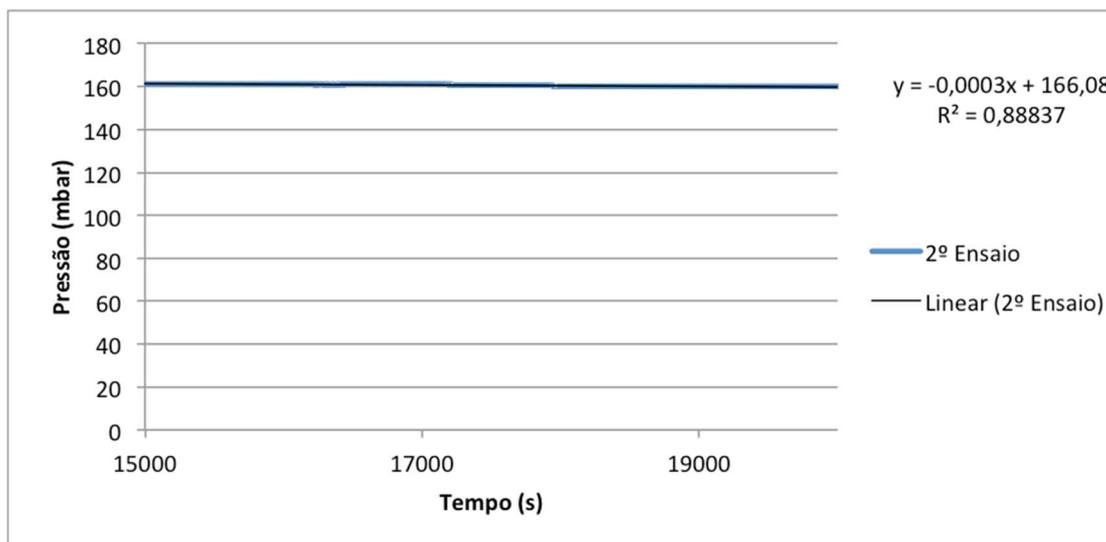


Figura III. 7 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 15000 e 20000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 15000s.

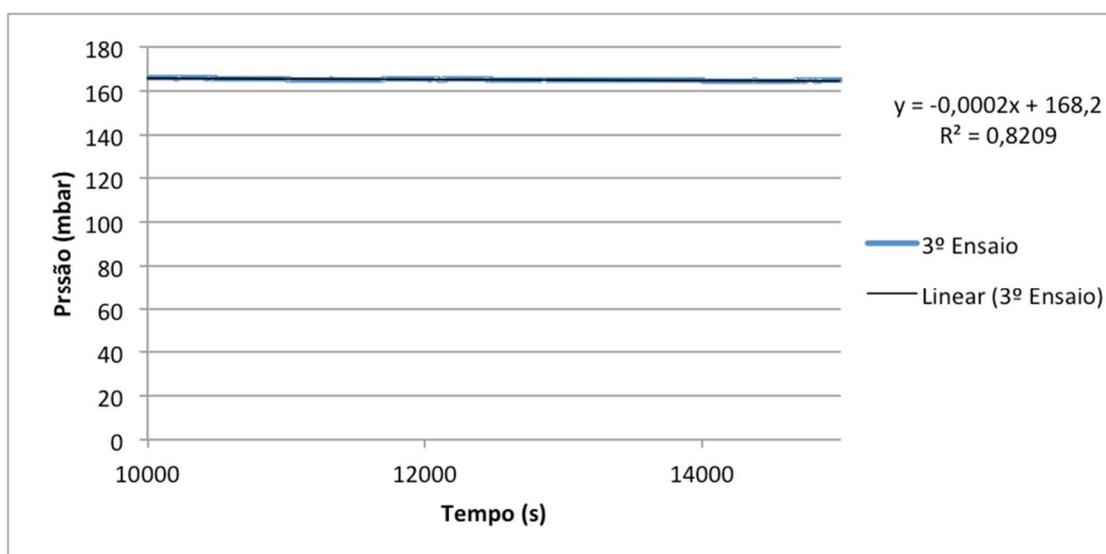


Figura III. 8 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 10000 e 15000s.

Plain 205g/m², 45°, VF=50%

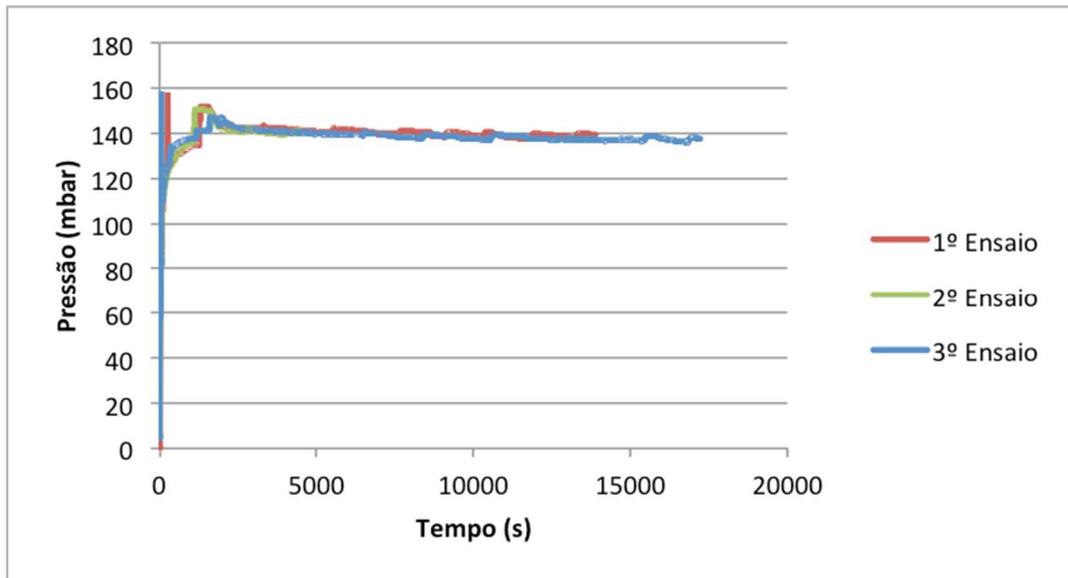


Figura III. 9 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 45°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 4000 e 11000s.

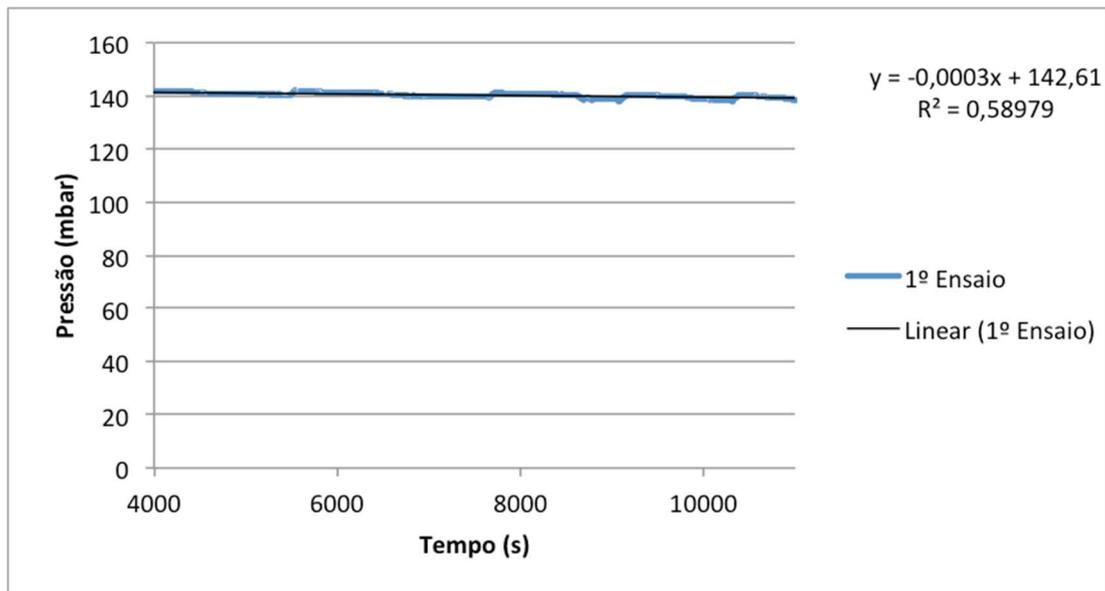


Figura III. 10 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 45°, VF=50% no intervalo entre 4000 e 11000s.

2º ensaio no intervalo entre 2000 e 2500s.

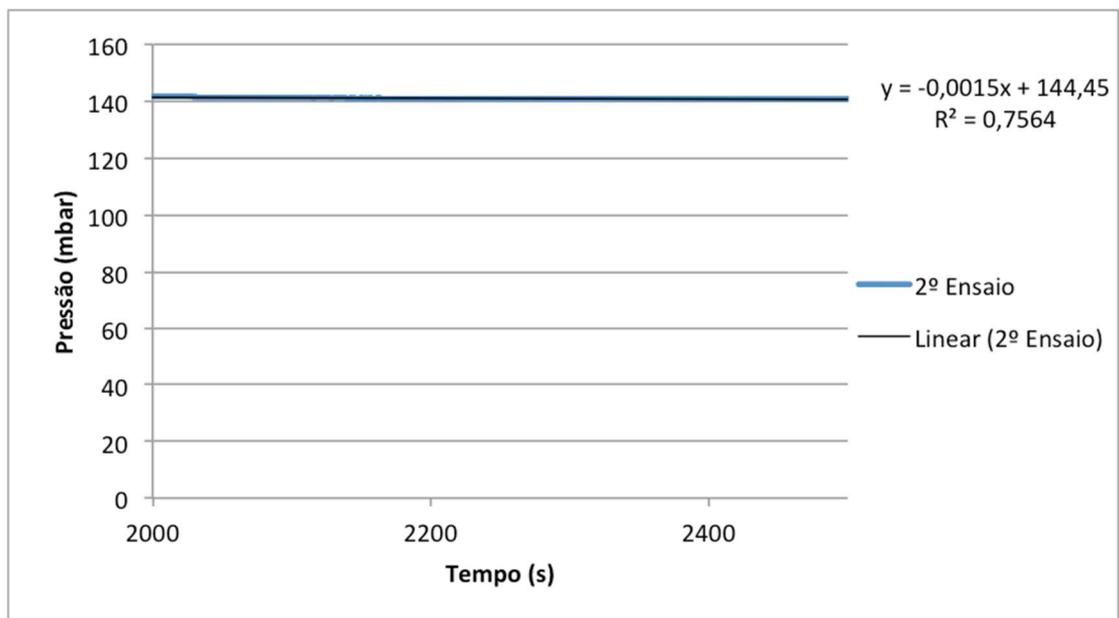


Figura III. 11 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 45°, VF=50% no intervalo entre 2000 e 11000s.

3º ensaio no intervalo entre 9000 e 14000s.

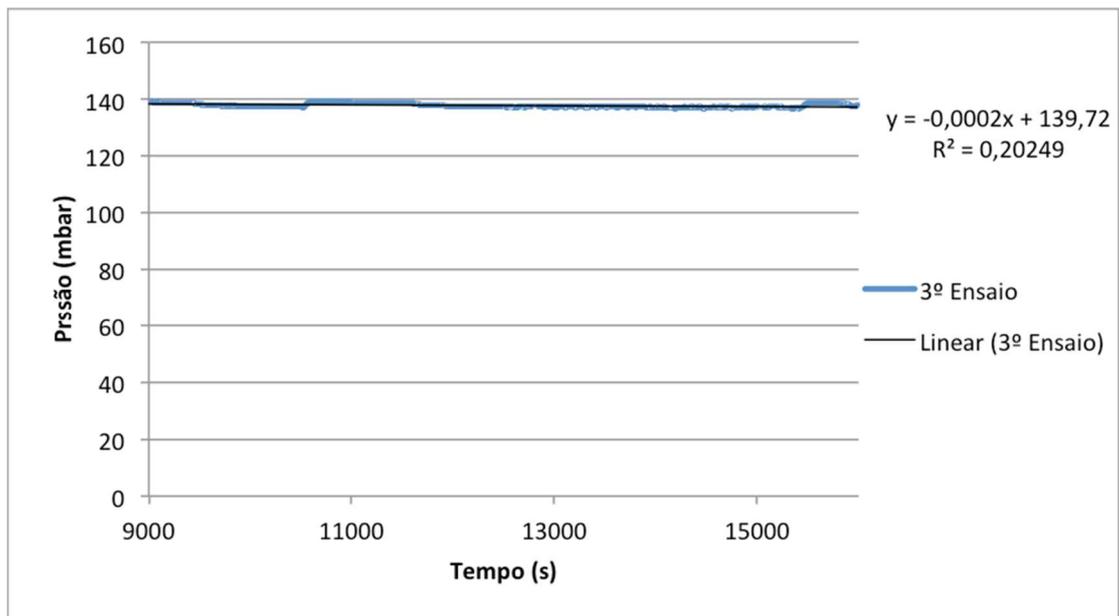


Figura III. 12 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 45°, VF=50% no intervalo entre 9000 e 14000s.

UNI 200g/m², 0°, VF=50%

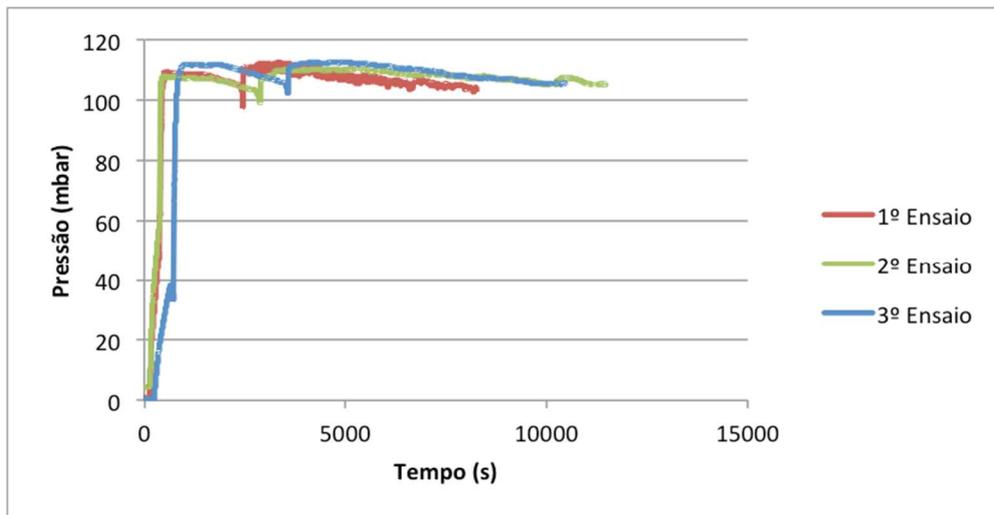


Figura III. 13 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 0°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 5000 e 8000s.

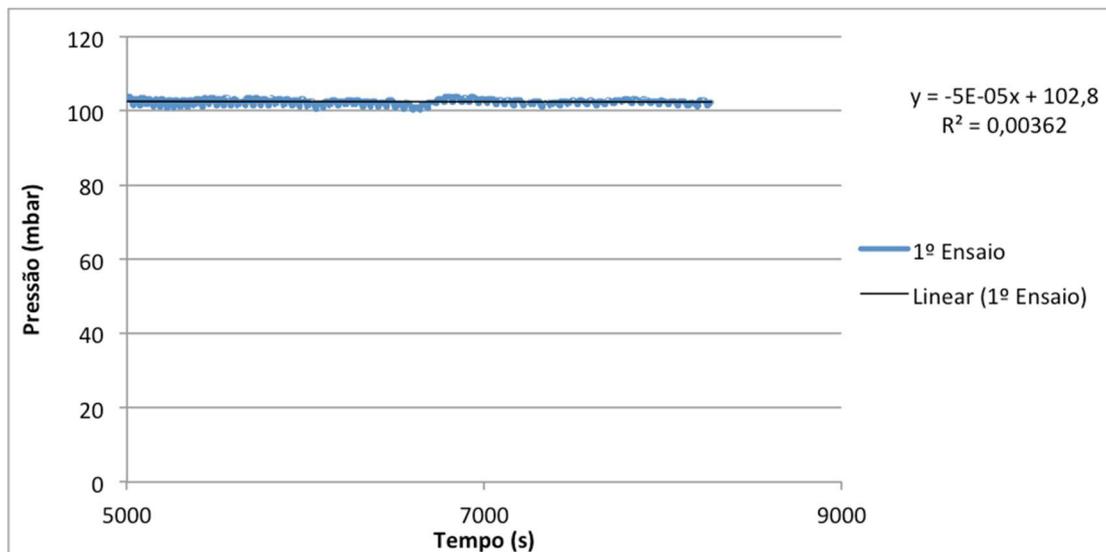


Figura III. 14 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 5000 e 8000s.

2º ensaio no intervalo entre 4000 e 9000s.

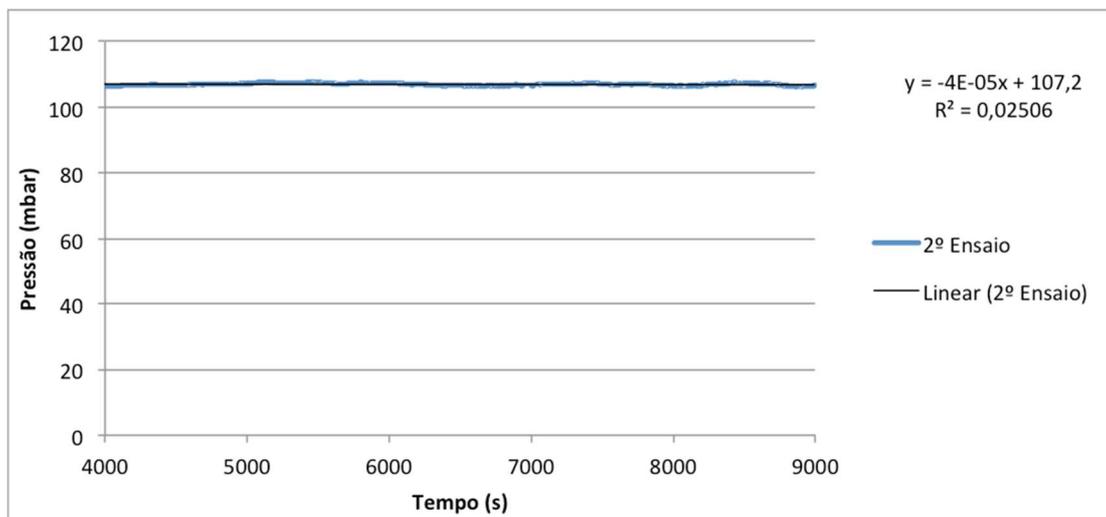


Figura III. 15 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 4000 e 9000s.

3º ensaio no intervalo entre 5000 e 10000s.

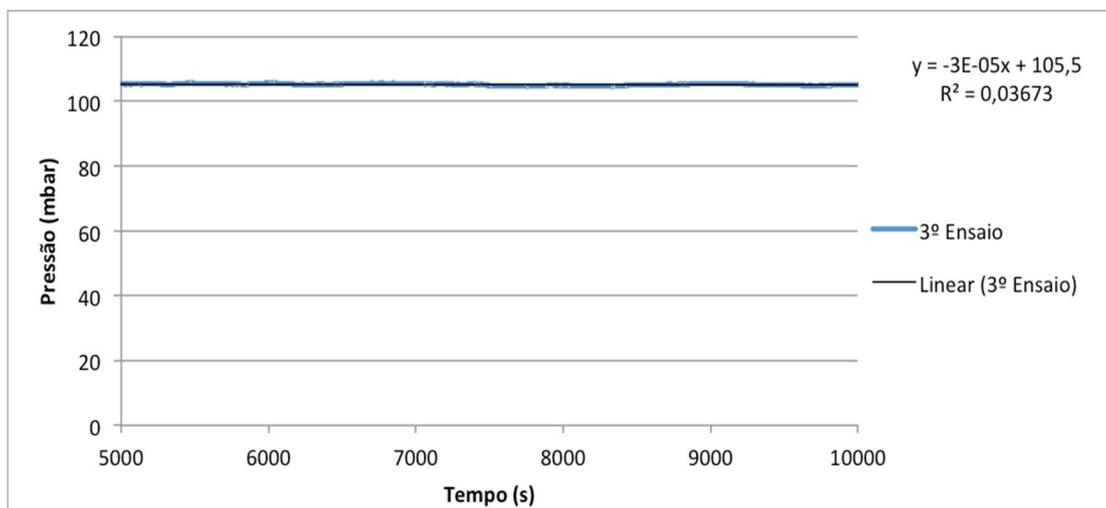


Figura III. 16 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 5000 e 10000s.

UNI 200g/m², 90°, VF=50%

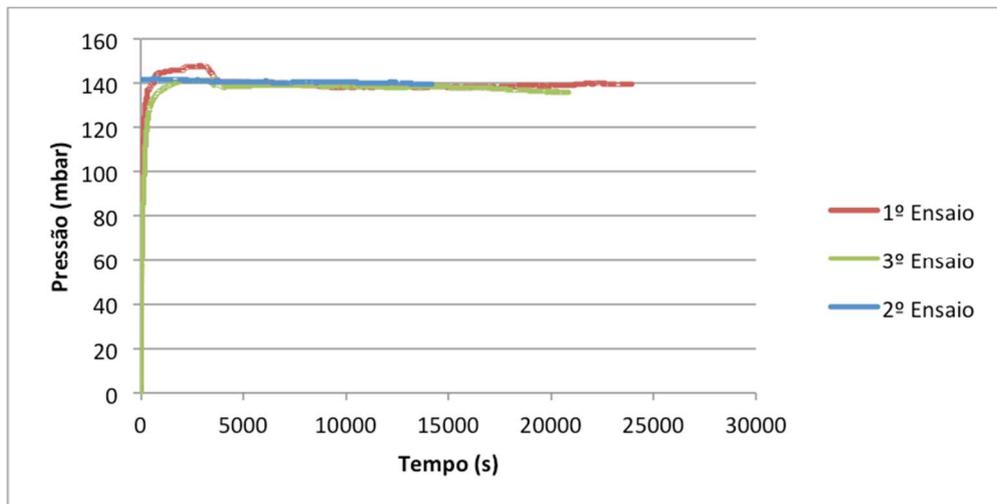


Figura III. 17 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 90°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 500 e 2500s.

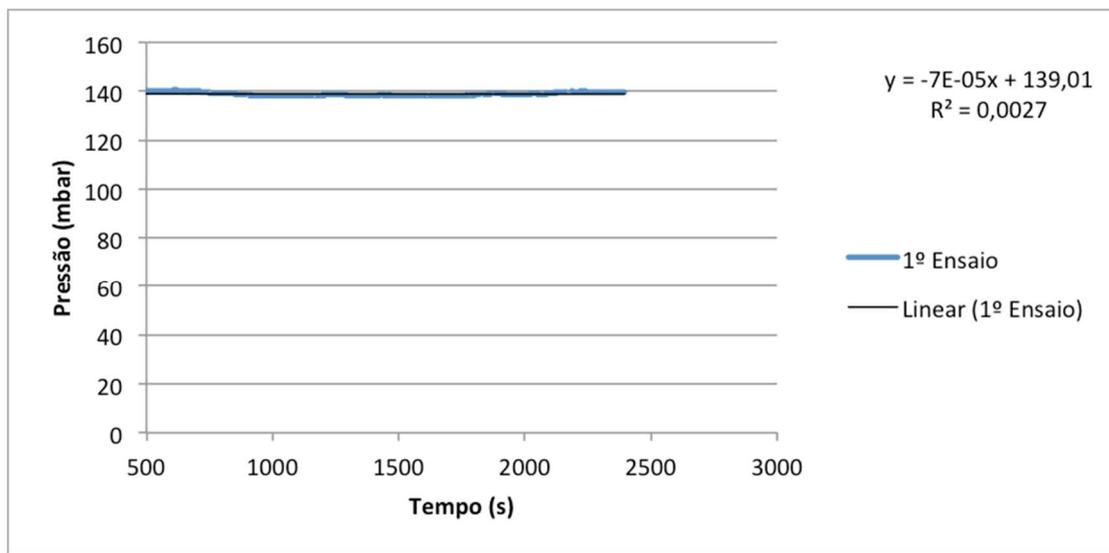


Figura III. 18 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 500 e 2500s.

2º ensaio no intervalo entre 5000 e 15000s.

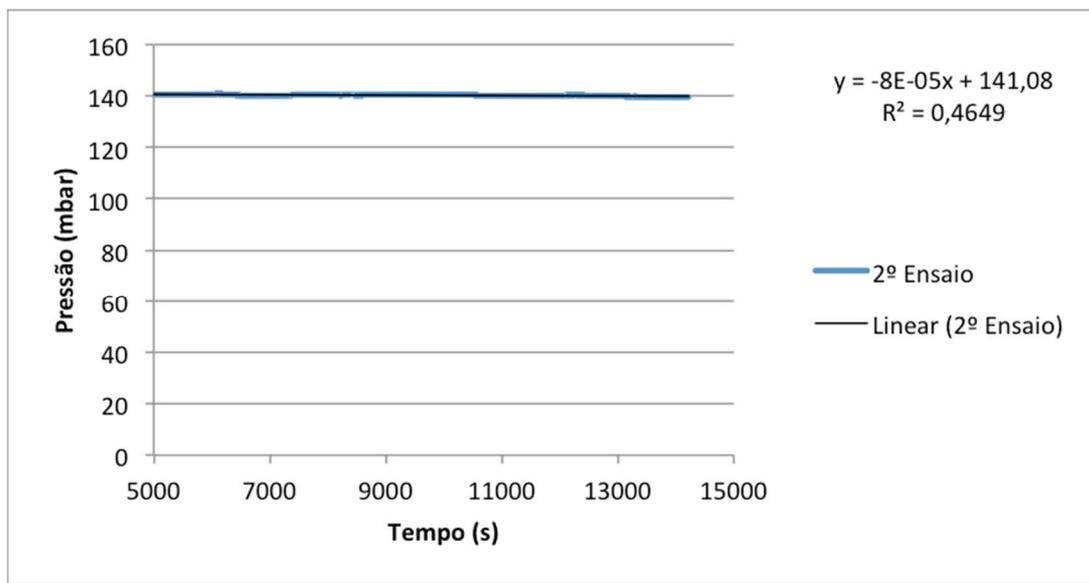


Figura III. 19 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 5000 e 15000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 17000s.

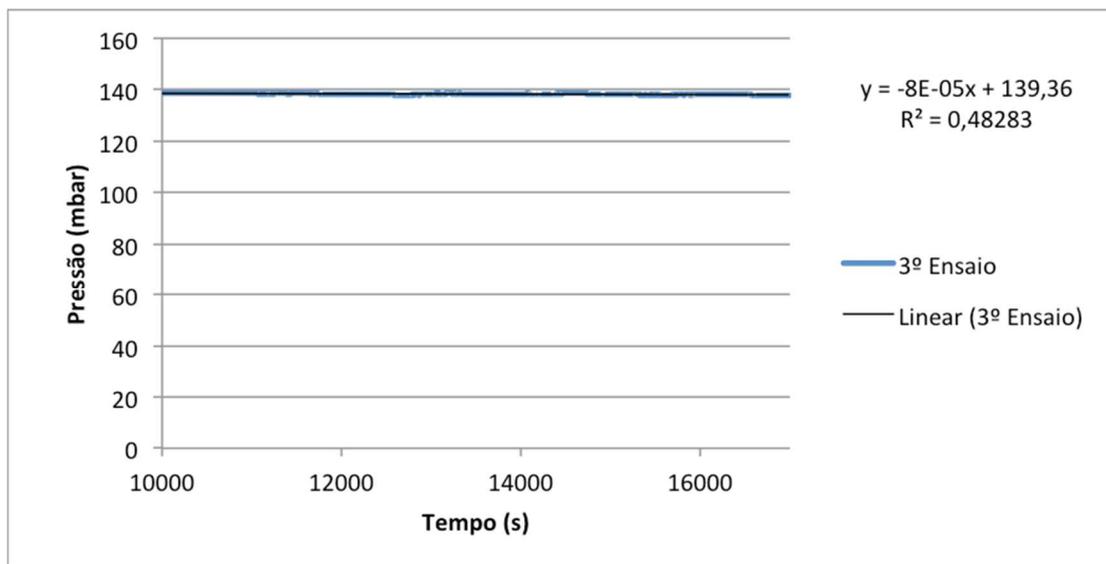


Figura III. 20 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 10000 e 17000s.

UNI 640g/m², 0°, VF=50%

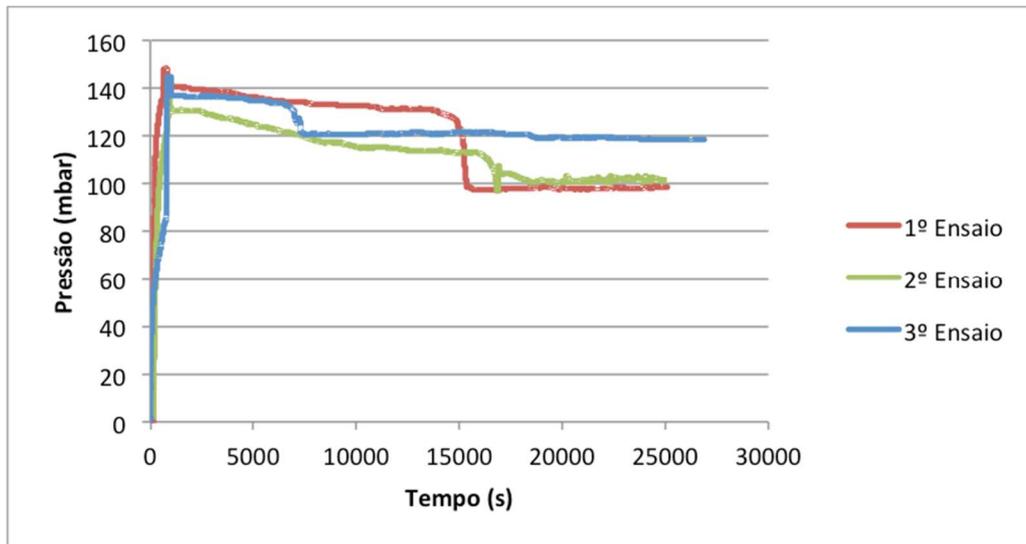


Figura III. 21 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 0°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 16000 e 25000s.

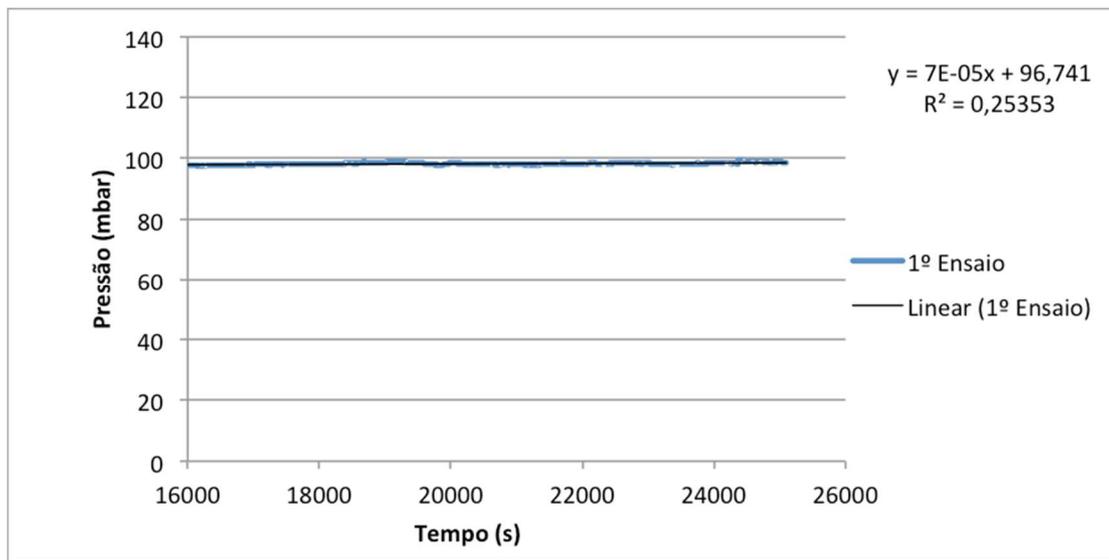


Figura III. 22 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 16000 e 25000s.

2º ensaio no intervalo entre 19000 e 23000s.

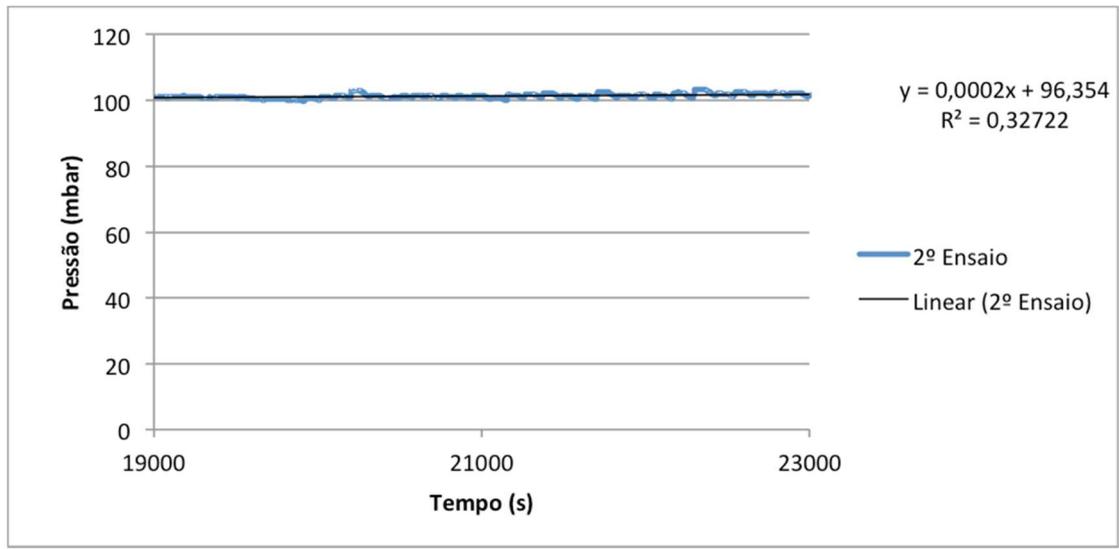


Figura III. 23 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 19000 e 23000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 20000s.

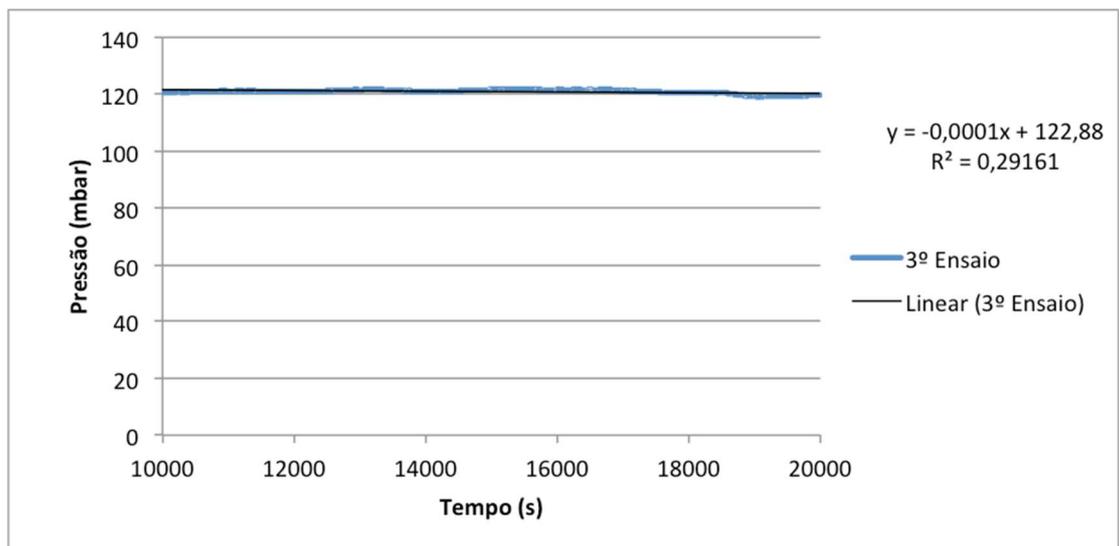


Figura III. 24 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 10000 e 20000s.

UNI 640g/m², 90°, VF=50%

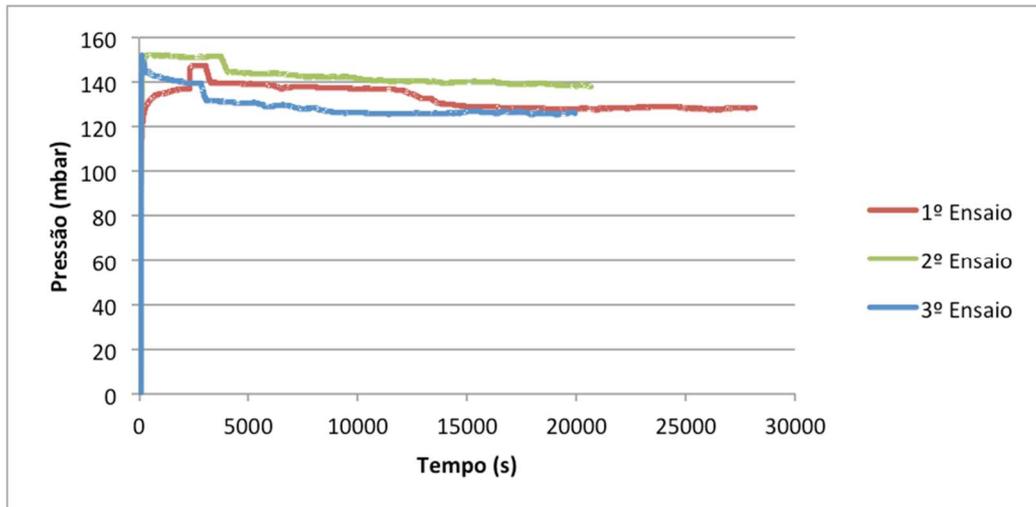


Figura III. 25 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 90°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 16000 e 21000s.

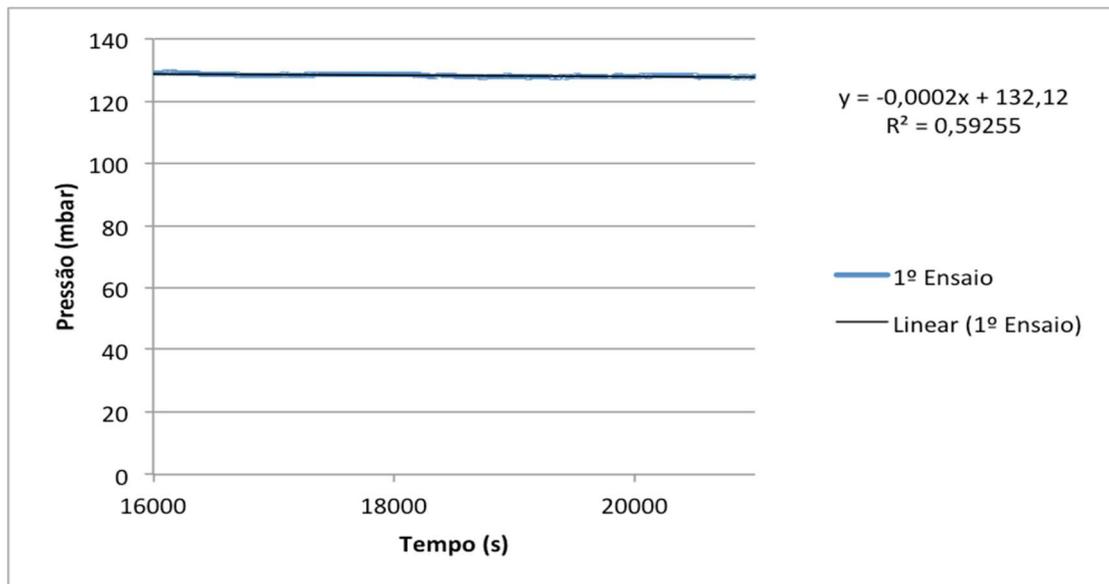


Figura III. 26 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 16000 e 21000s.

2º ensaio no intervalo entre 13000 e 17000s.

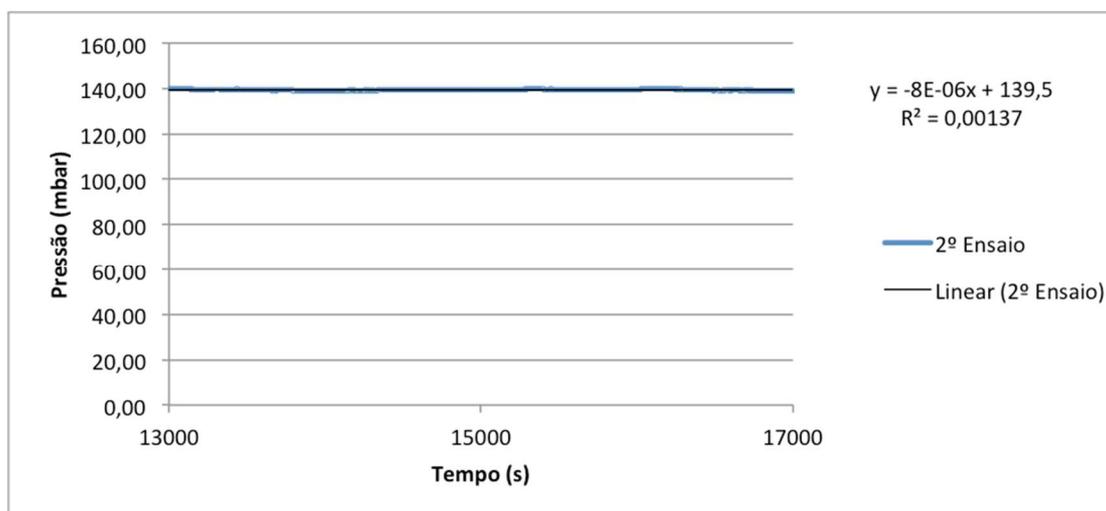


Figura III. 27 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 13000 e 17000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 18000s.

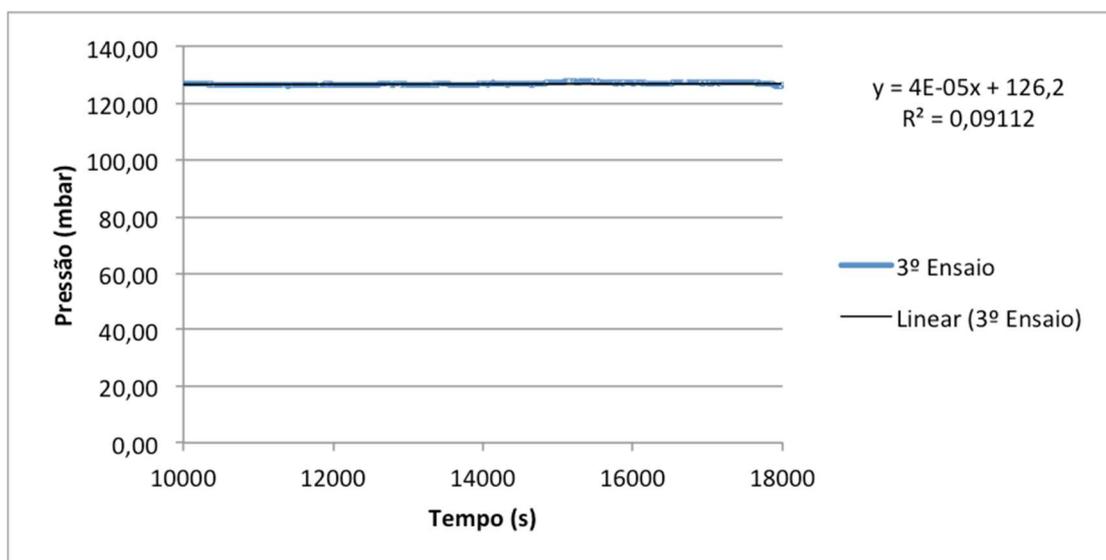


Figura III. 28 - Gráfico pressão em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 10000 e 18000s.

Tabela dos resultados do gradiente de pressão

Tabela III. 1 – Resultados do gradiente de pressão obtidos em cada ensaio.

<i>Fibra</i>	<i>VF (%)</i>	<i>Orientação (°)</i>	<i>Pressão (mbar)</i>
Plain 205g/m ²	45	0	138,40
			131,54
			126,26
			166,55
			166,08
	50	45	168,20
			142,61
			144,45
			139,72
			102,80
UNI 200 g/m ²	50	0	107,20
			105,50
			139,01
		90	141,08
			139,36
			96,74
UNI 640 g/m ²	50	0	96,35
			122,88
			132,12
		90	139,50
			126,20

ANEXO V

Gráficos do caudal mássico

Tabela dos resultados do caudal mássico

Plain 205g/m², 0°, VF=45%

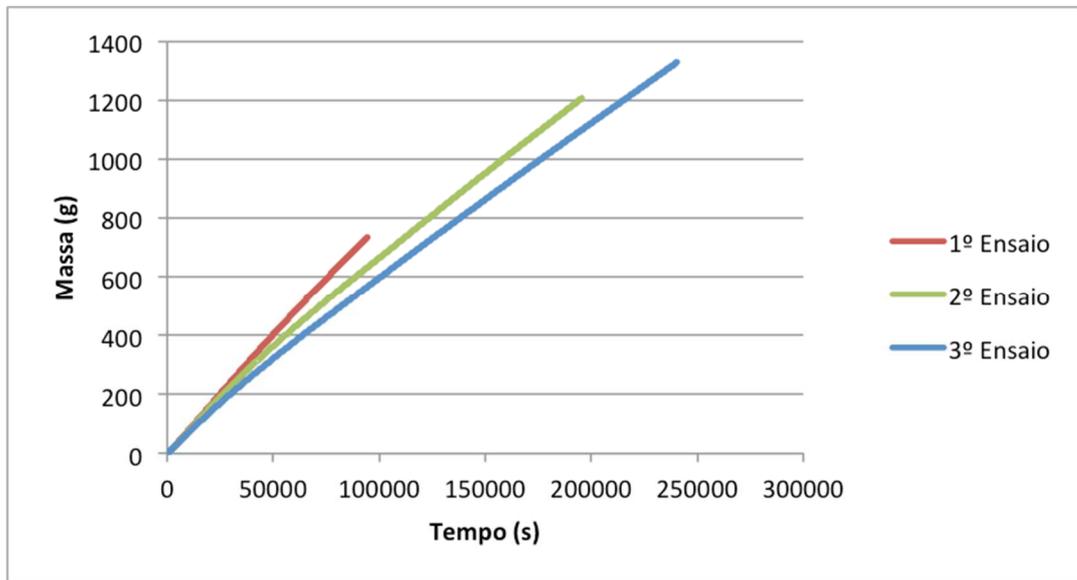


Figura IV. 1 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=45%.

1º ensaio no intervalo entre 3000 e 10000s.

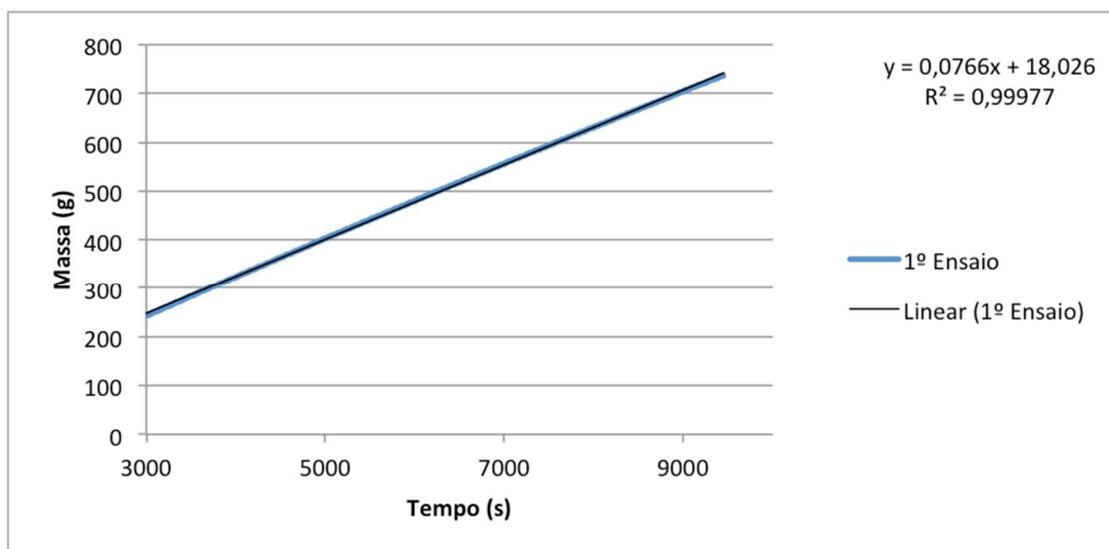


Figura IV. 2 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 0°, VF=45% no intervalo entre 3000 e 10000s.

2º ensaio no intervalo entre 9000 e 16000s.

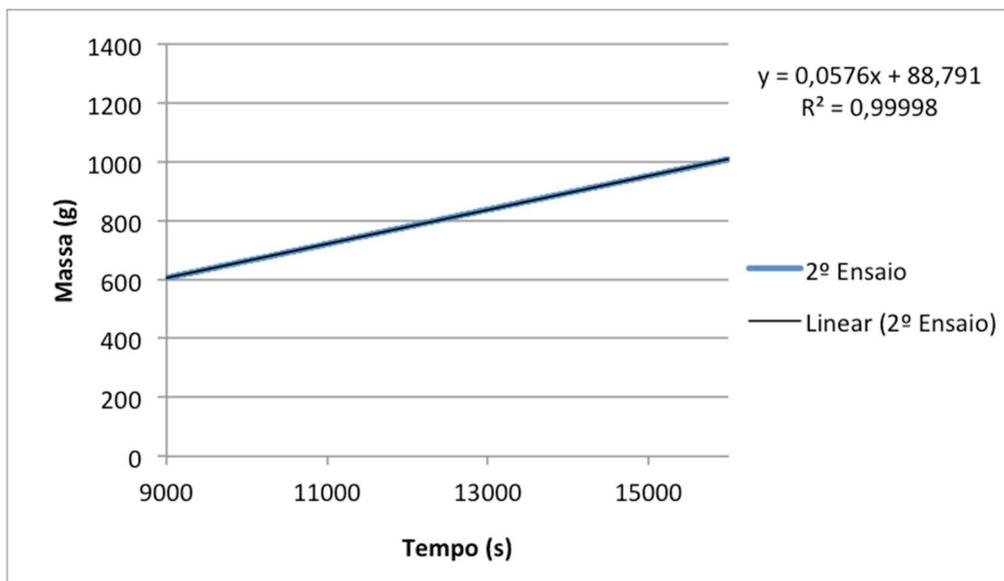


Figura IV. 3 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 0°, VF=45% no intervalo entre 9000 e 16000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 17000s.

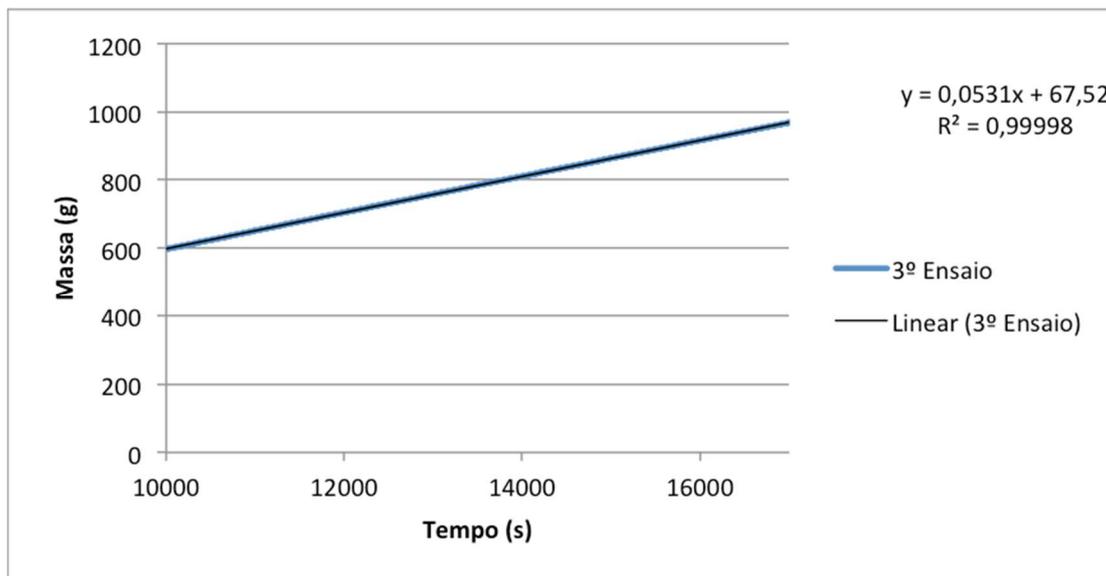


Figura IV. 4 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 0°, VF=45% no intervalo entre 10000 e 17000s.

Plain 205g/m², 0°, VF=50%

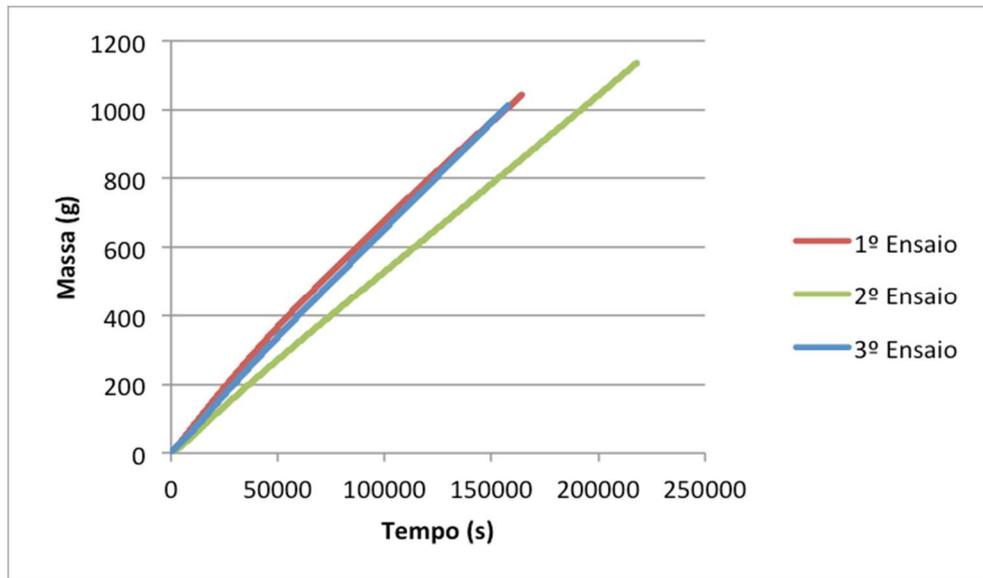


Figura IV. 5 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 0°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 12000 e 17000s.

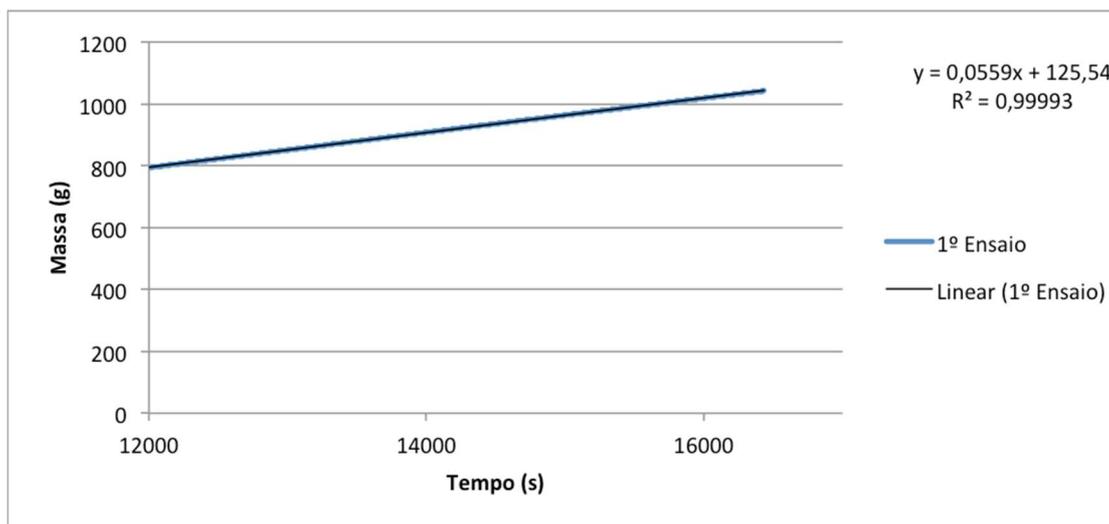


Figura IV. 6 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 12000 e 17000s.

2º ensaio no intervalo entre 15000 e 20000s.

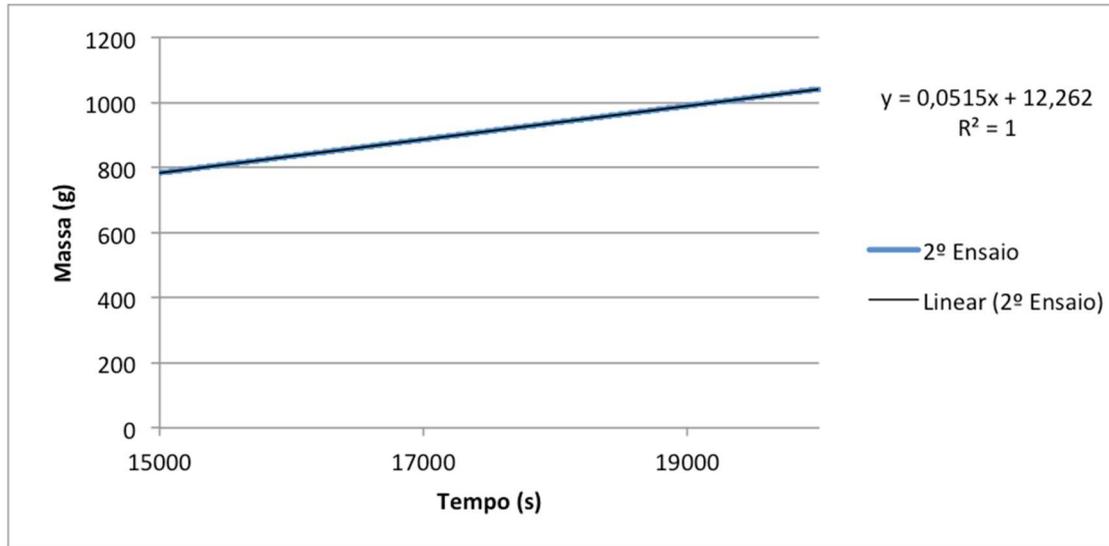


Figura IV. 7 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 15000 e 20000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 15000s.

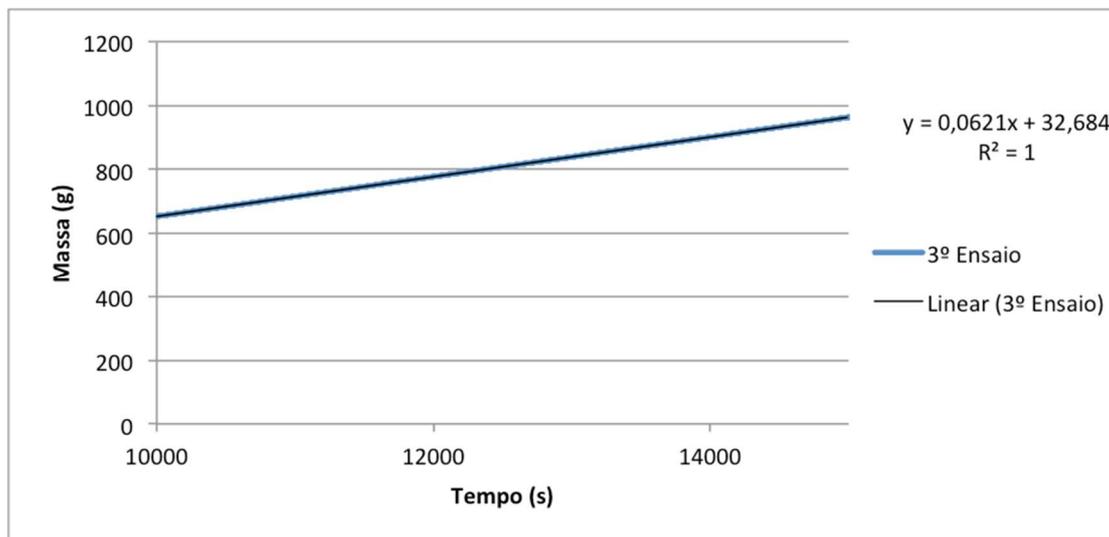


Figura IV. 8 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 10000 e 15000s.

Plain 205g/m², 45°, VF=50%

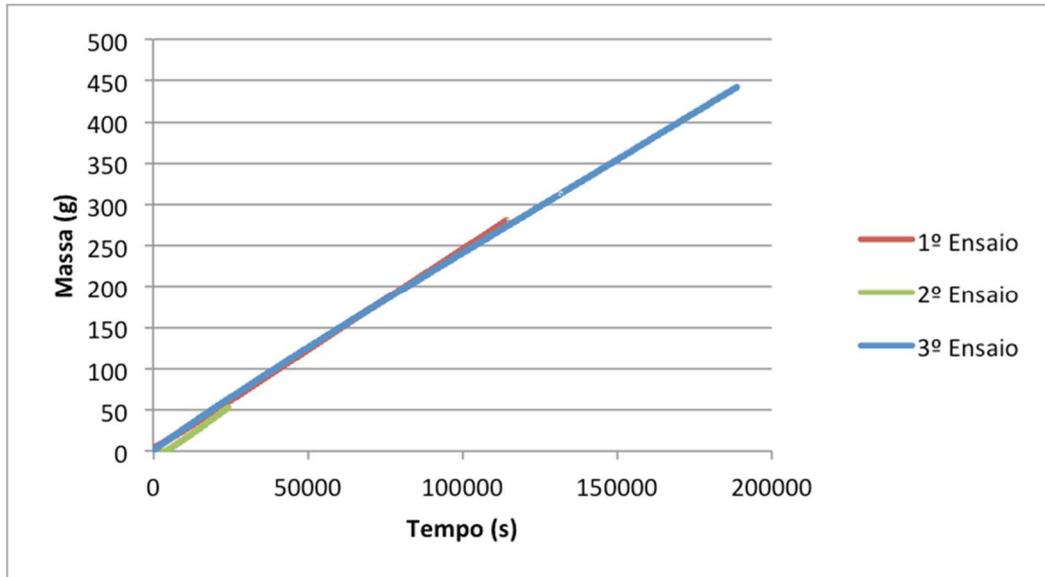


Figura IV. 9 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra Plain 205g/m², 45°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 4000 e 11000s.

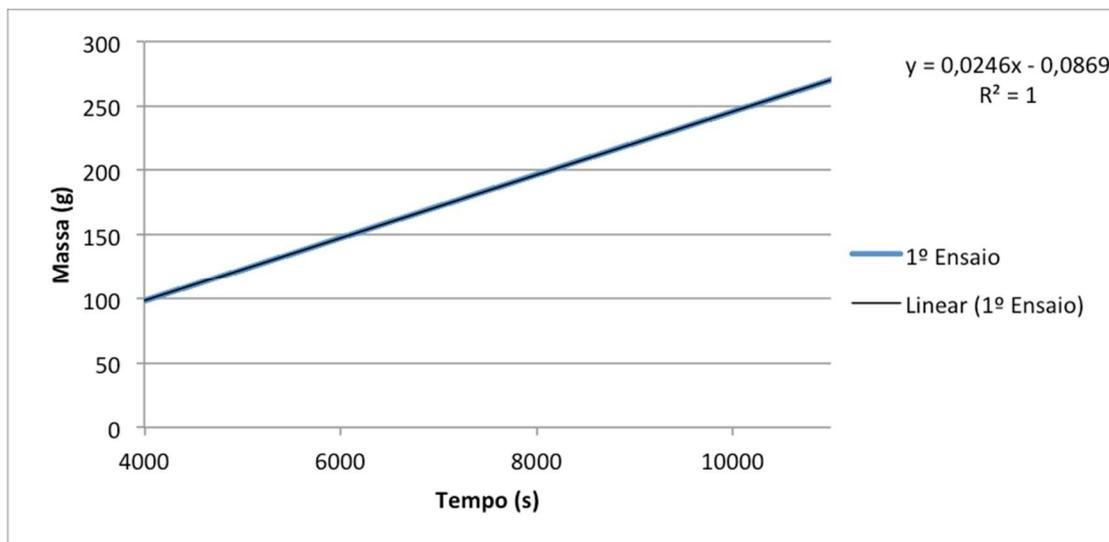


Figura IV. 10 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 45°, VF=50% no intervalo entre 4000 e 11000s.

2º ensaio no intervalo entre 2000 e 2500s.

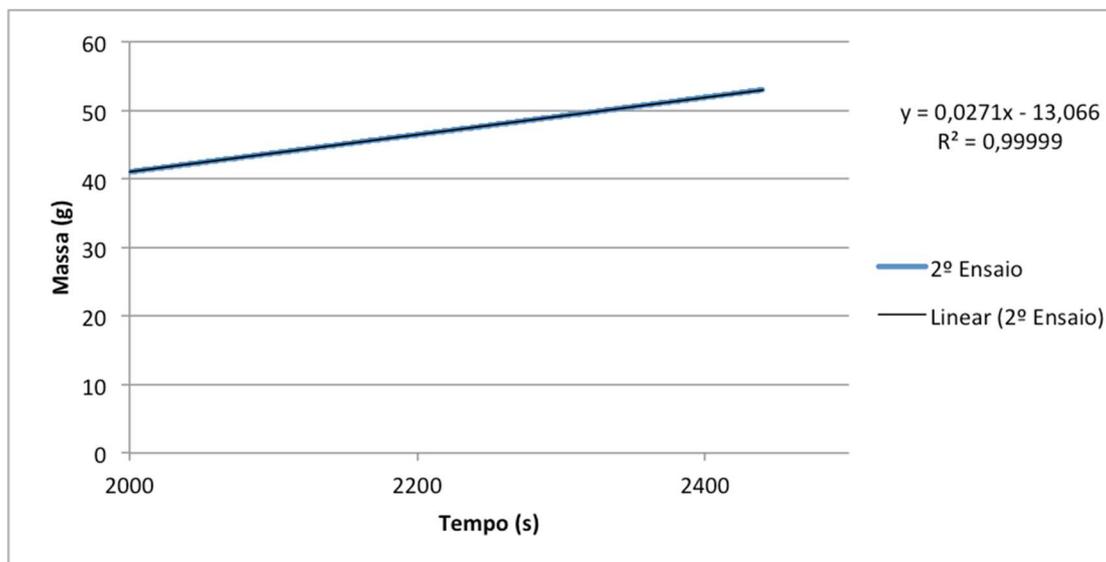


Figura IV. 11 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 45°, VF=50% no intervalo entre 2000 e 2500s.

3º ensaio no intervalo entre 9000 e 14000s.

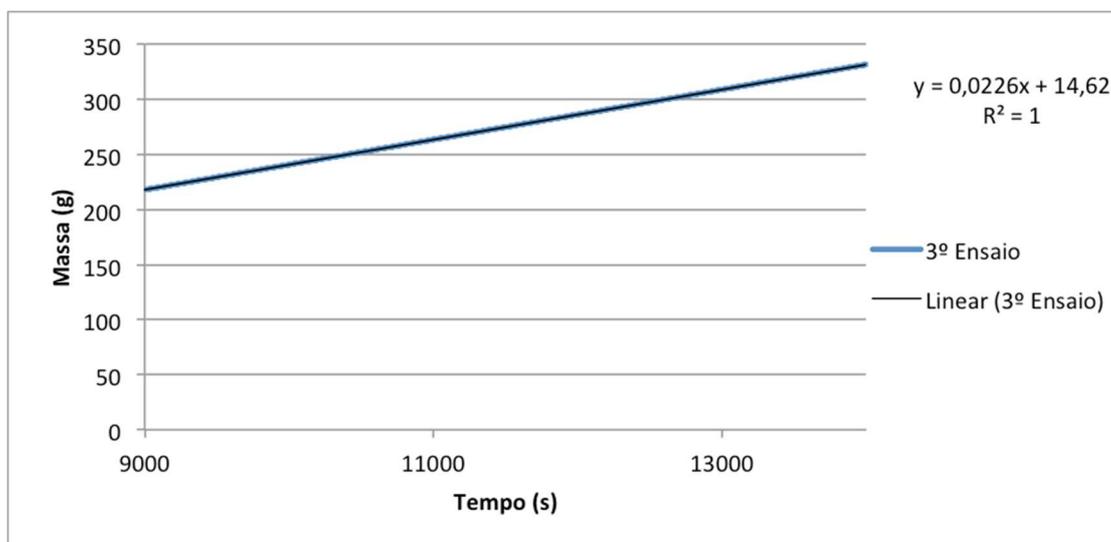


Figura IV. 12 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra plain 205g/m², 45°, VF=50% no intervalo entre 9000 e 14000s.

UNI 200g/m², 0°, VF=50%

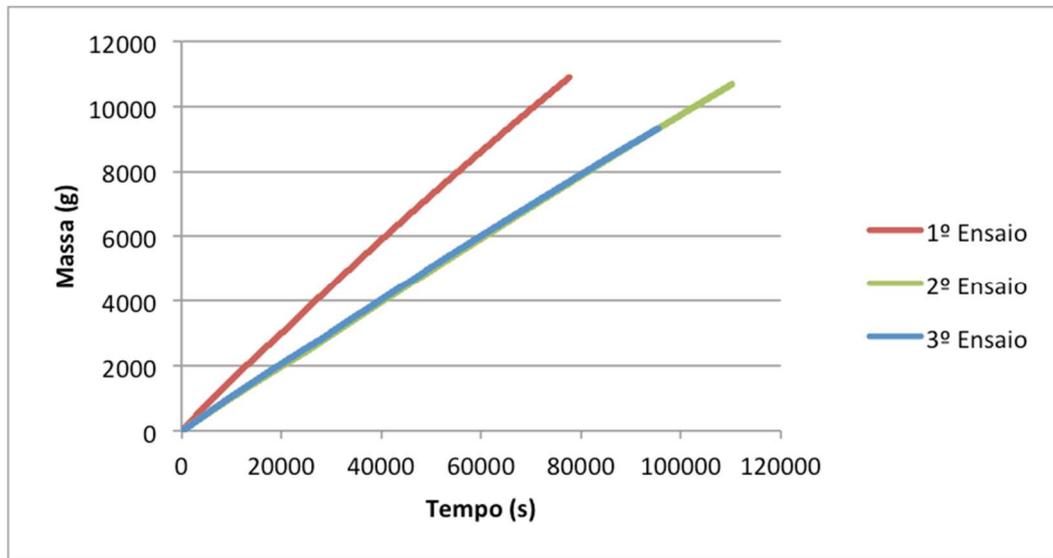


Figura IV. 13 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 0°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 5000 e 8000s.

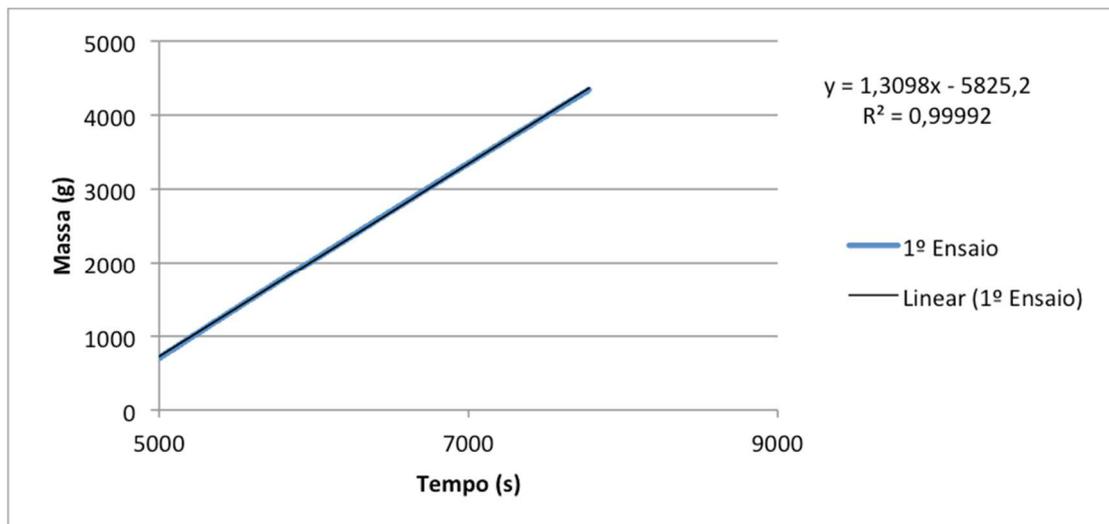


Figura IV. 14 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 5000 e 8000s.

2º ensaio no intervalo entre 4000 e 9000s.

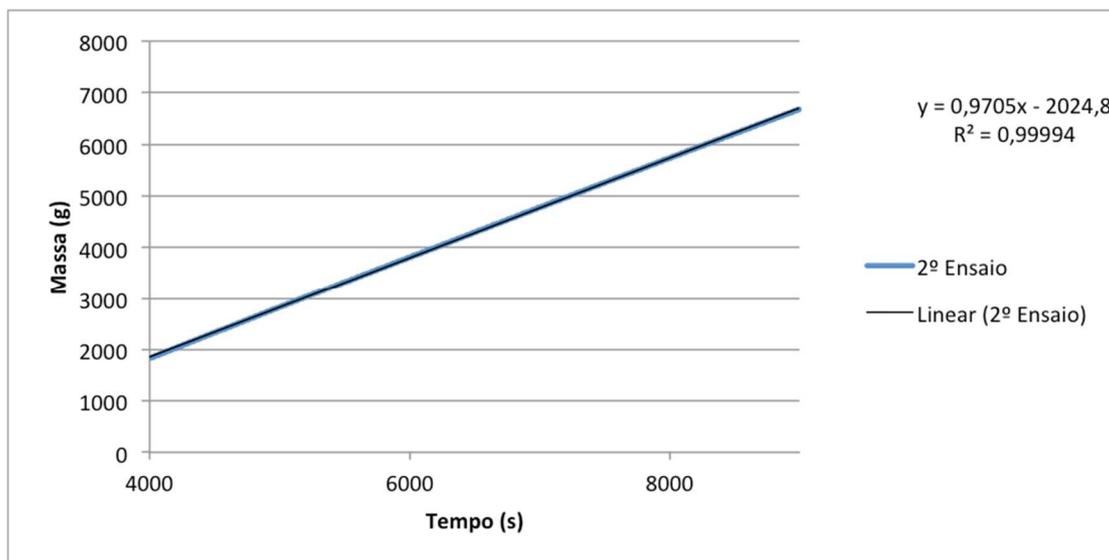


Figura IV. 15 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 4000 e 9000s.

3º ensaio no intervalo entre 5000 e 10000s.

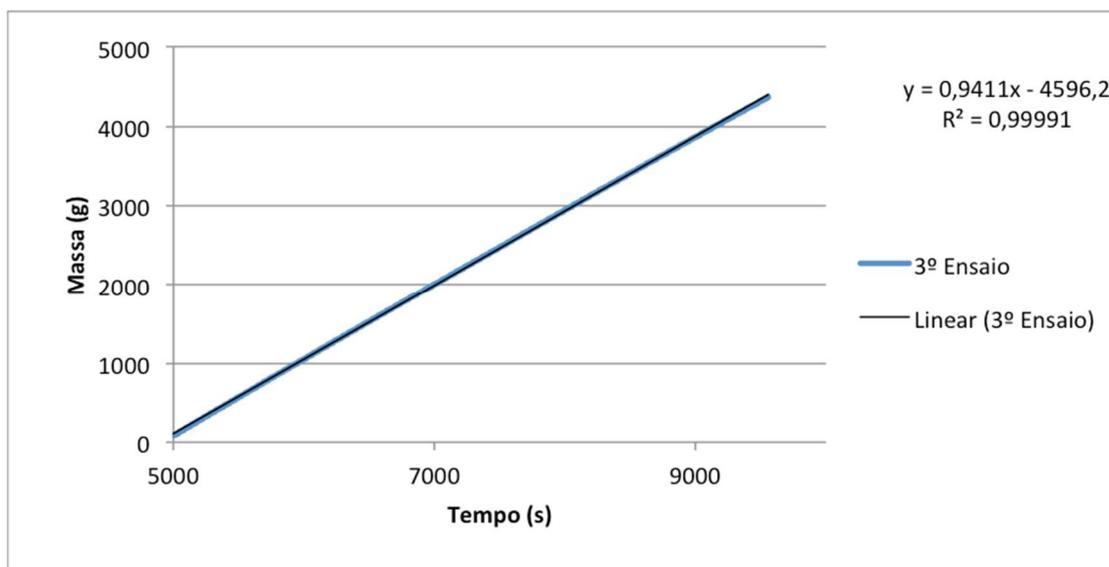


Figura IV. 16 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 5000 e 10000s.

UNI 200g/m², 90°, VF=50%

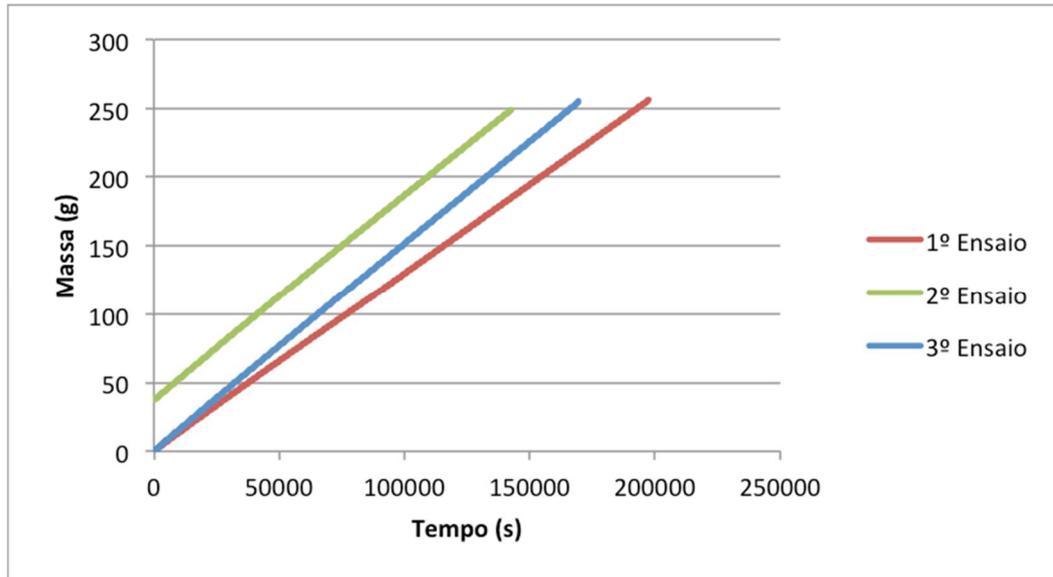


Figura IV. 17 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 90°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 500 e 2500s.

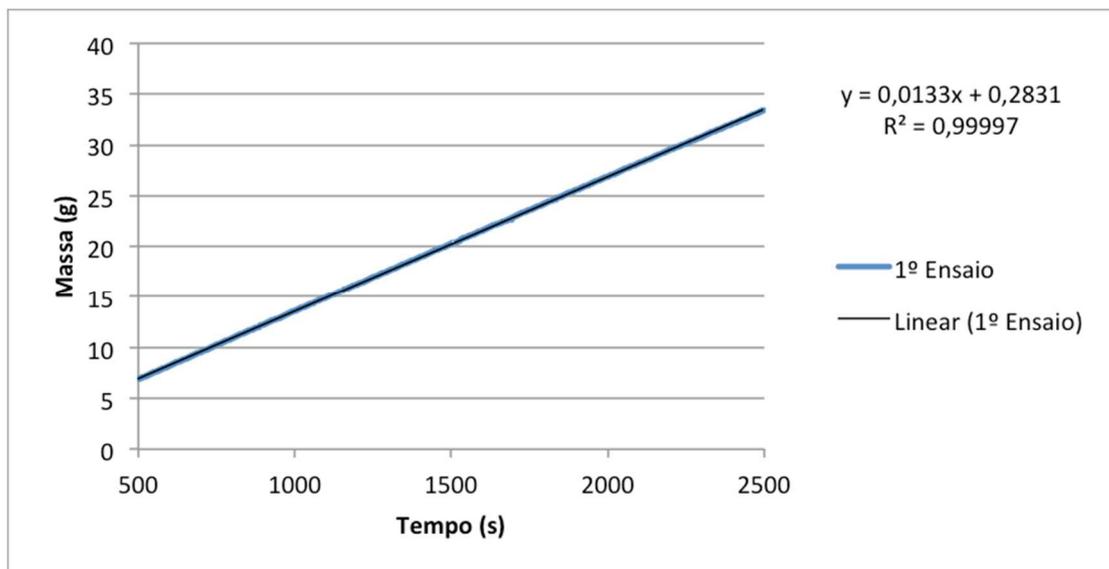


Figura IV. 18 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 500 e 2500s.

2º ensaio no intervalo entre 5000 e 15000s.

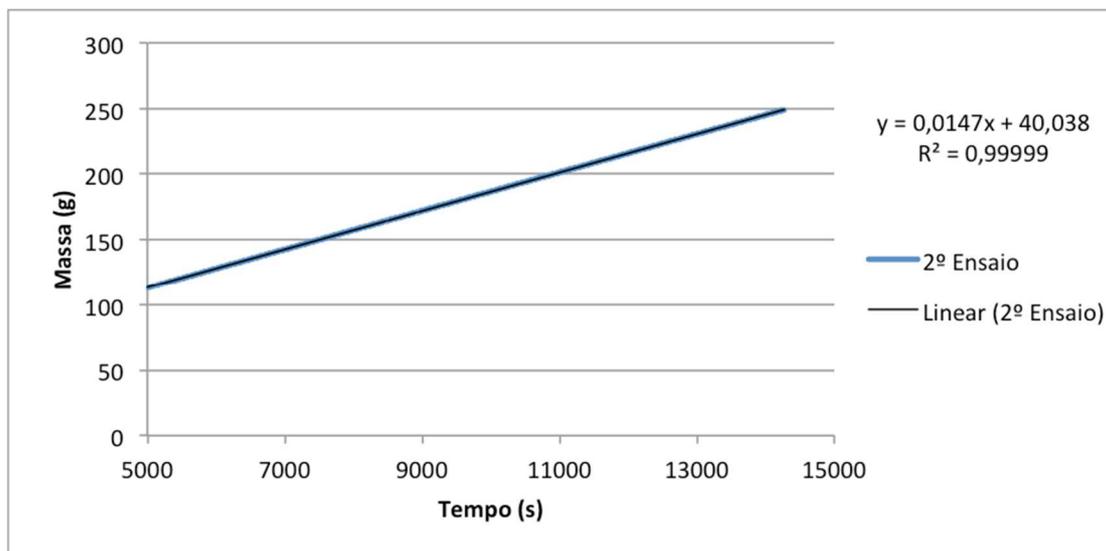


Figura IV. 19 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 5000 e 15000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 17000s.

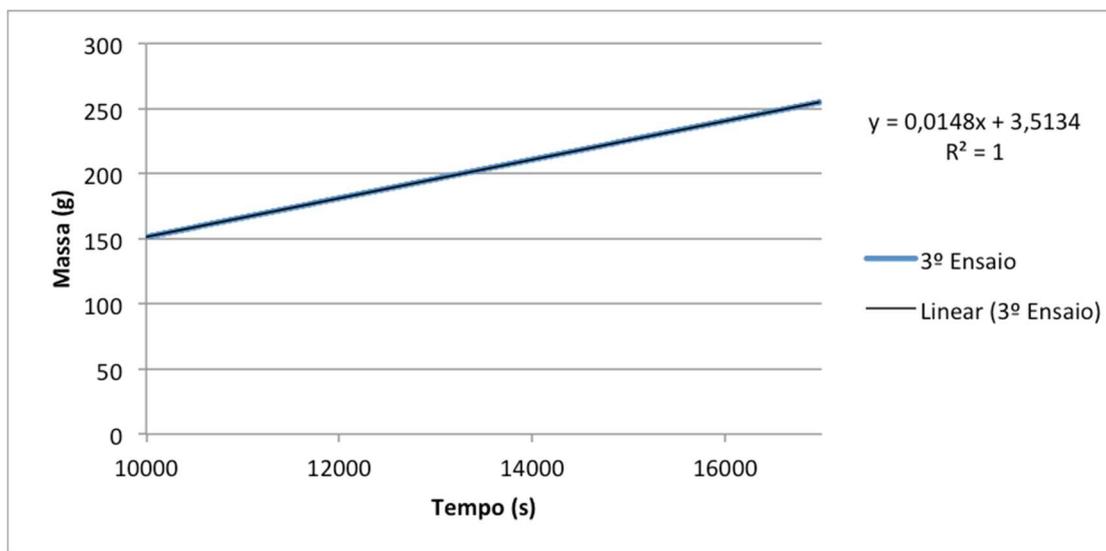


Figura IV. 20 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 200g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 17000 e 15000s.

UNI 640g/m², 0°, VF=50%

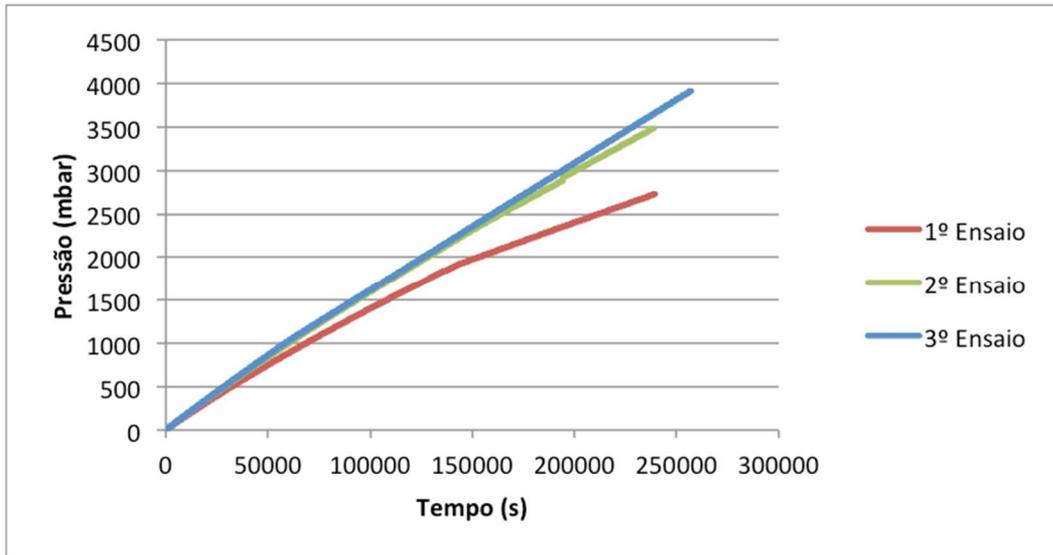


Figura IV. 21 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 0°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 16000 e 25000s.

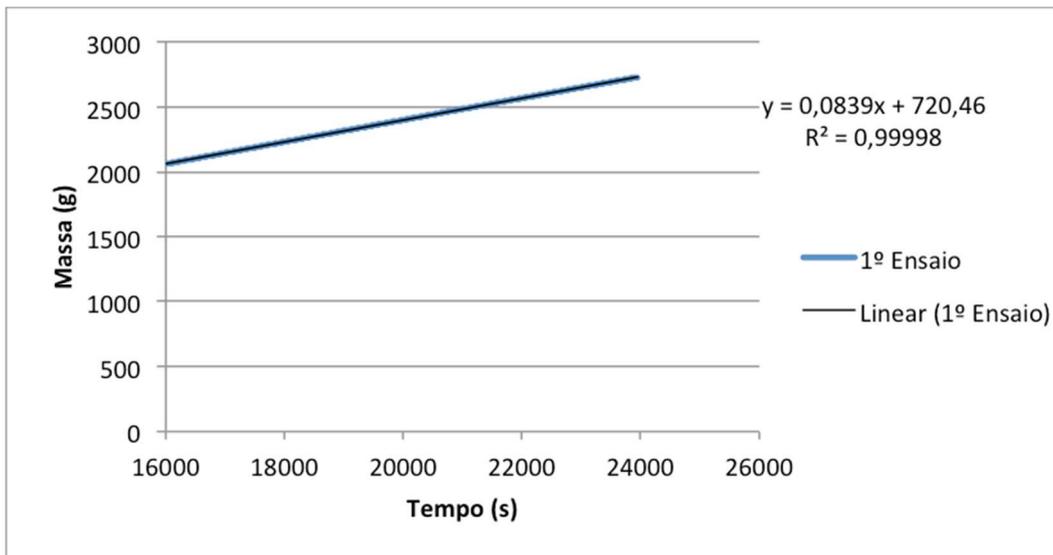


Figura IV. 22 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 16000 e 25000s.

2º ensaio no intervalo entre 20000 e 23000s.

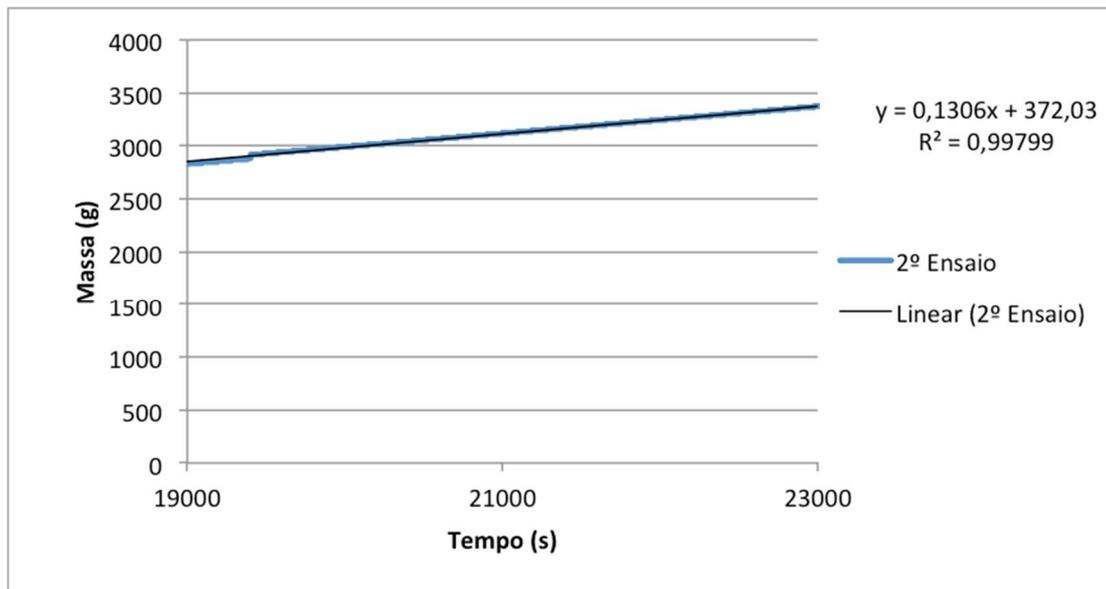


Figura IV. 23 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 20000 e 23000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 20000s.

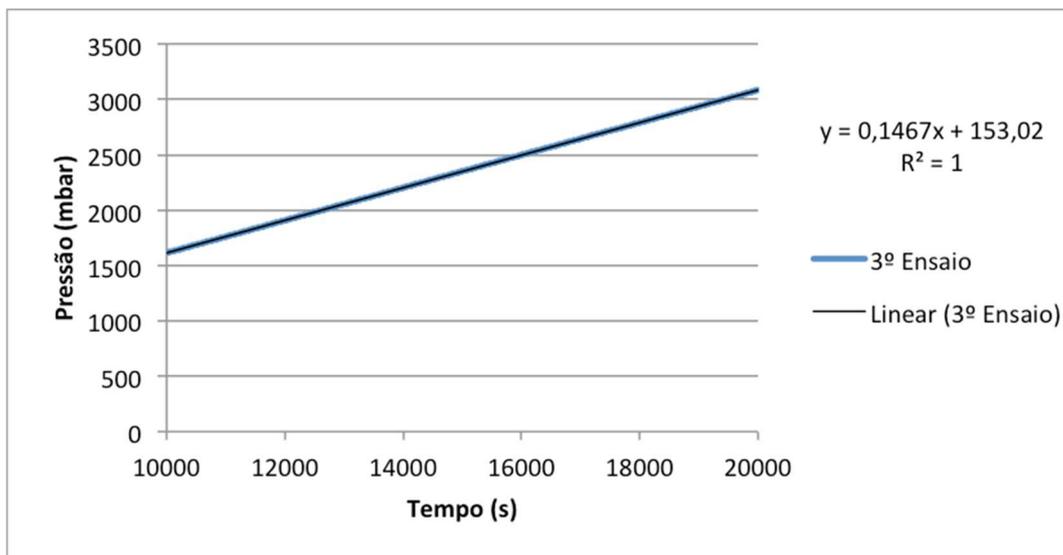


Figura IV. 24 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 0°, VF=50% no intervalo entre 10000 e 20000s.

UNI 640g/m², 90°, VF=50%

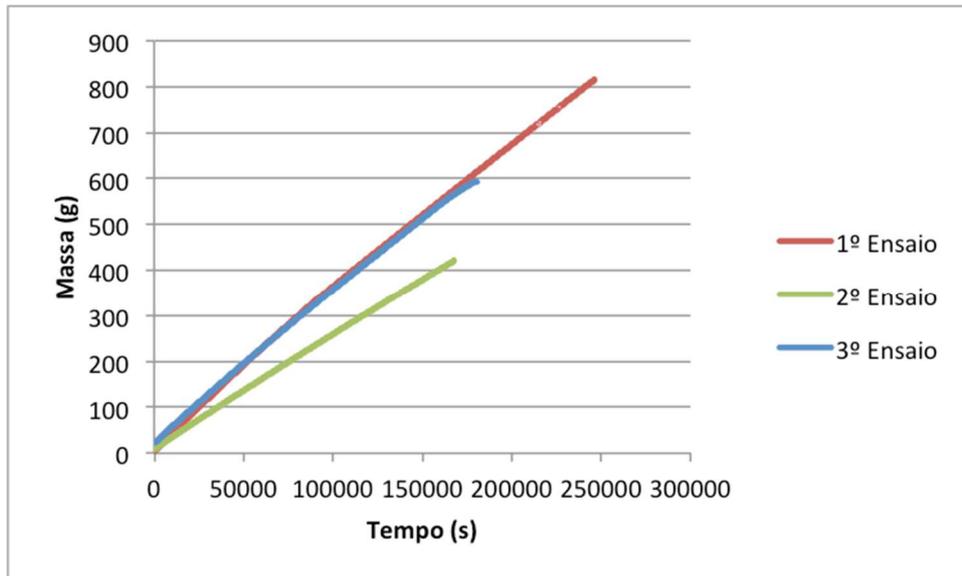


Figura IV. 25 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 90°, VF=50%.

1º ensaio no intervalo entre 16000 e 21000s.

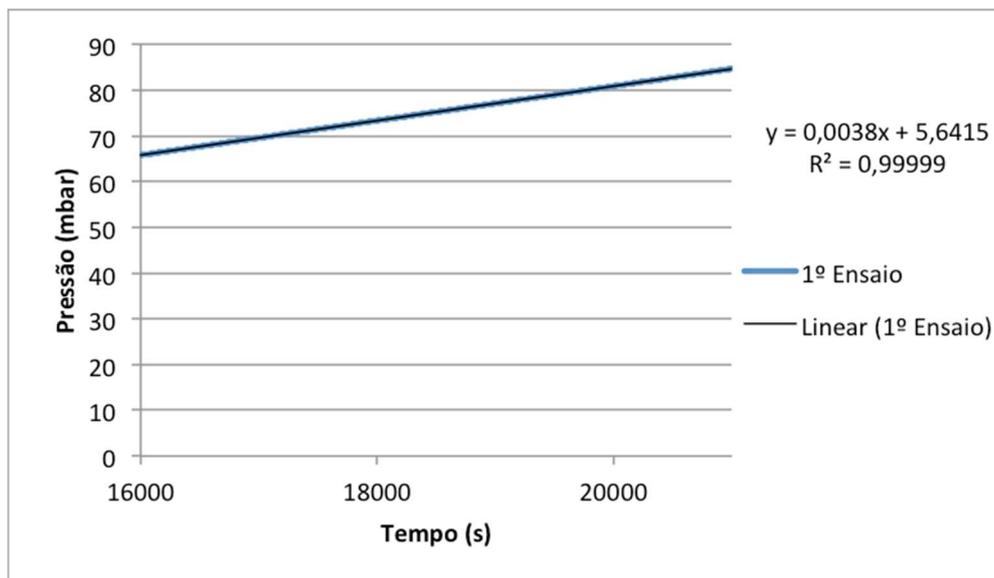


Figura IV. 26 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 16000 e 21000s.

2º ensaio no intervalo entre 13000 e 17000s.

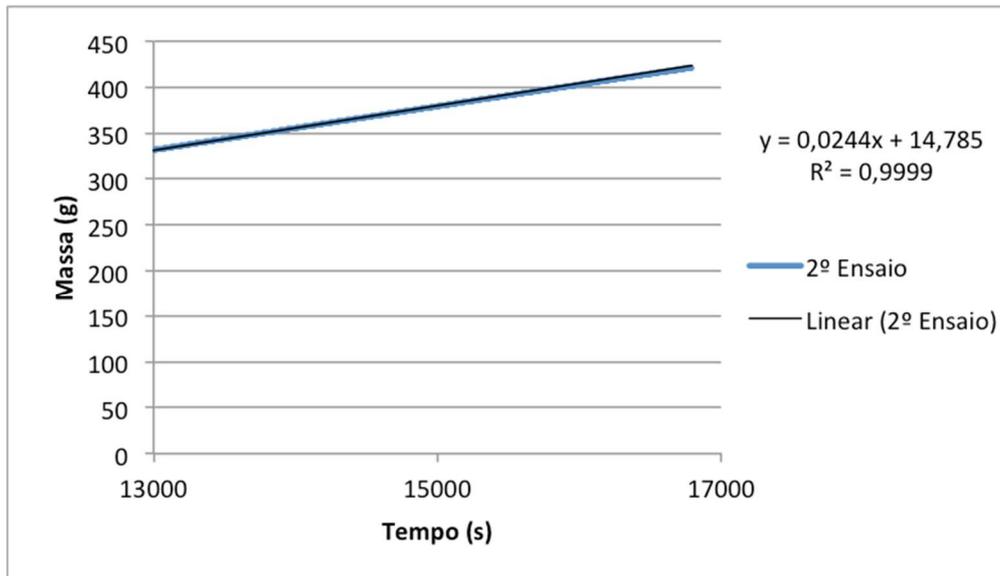


Figura IV. 27 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 13000 e 17000s.

3º ensaio no intervalo entre 10000 e 18000s.

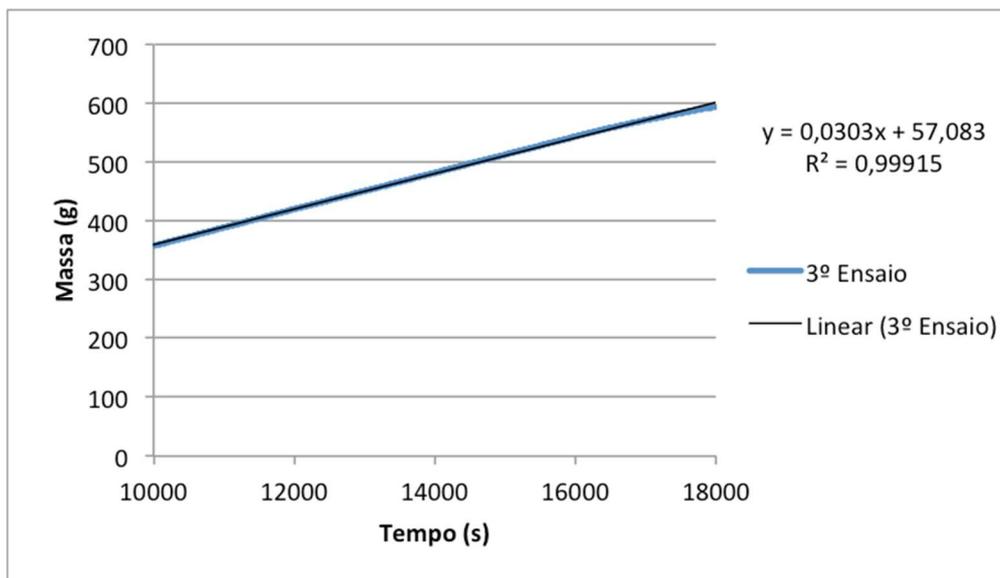


Figura IV. 28 - Gráfico massa em função do tempo do ensaio com a fibra UNI 640g/m², 90°, VF=50% no intervalo entre 10000 e 18000s.

Tabela dos resultados do caudal mássico

<i>Fibra</i>	<i>VF (%)</i>	<i>Orientação (°)</i>	<i>Caudal Mássico (g/s)</i>	<i>Caudal Volumétrico (m³/s)</i>
PLAIN 205 g/m ²	45	0	0,0766	6,33E-08
			0,0576	4,76E-08
			0,0531	4,39E-08
			0,0559	4,62E-08
			0,0515	4,25E-08
	50	45	0,0621	5,13E-08
			0,0246	2,03E-08
			0,027	2,24E-08
			0,0226	1,87E-08
			1,3098	1,08E-06
UNI 200 g/m ²	50	0	0,9705	8,02E-07
			0,9411	7,77E-07
			0,0133	1,10E-08
			0,0147	1,21E-08
			0,0148	1,22E-08
UNI 640 g/m ²	50	0	0,0839	6,93E-08
			0,1306	1,08E-07
			0,1467	1,21E-07
			0,0038	3,14E-09
			0,0244	2,02E-08
		90	0,0303	2,50E-08