

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO DA FORÇA DE ADESÃO DE TORTAS DE FILTRAÇÃO
DE GASES EM DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS**

Priscila Martins de Barros

São Carlos - SP

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO DA FORÇA DE ADESÃO DE TORTAS DE FILTRAÇÃO
DE GASES EM DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS**

Priscila Martins de Barros

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos

Orientadora: Mônica Lopes Aguiar

São Carlos - SP

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

B277ef

Barros, Priscila Martins de.

Estudo da força de adesão de tortas de filtração de gases em diferentes condições operacionais / Priscila Martins de Barros. -- São Carlos : UFSCar, 2010.

150 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Filtração de gases. 2. Tortas de filtração de gases. 3. Força de adesão. I. Título.

CDD: 660.284245 (20^a)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
PRISCILA MARTINS DE BARROS APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SÃO CARLOS, EM 08 DE MARÇO DE 2010.

BANCA EXAMINADORA:

Mônica Lopes Aguiar

Mônica Lopes Aguiar
Orientadora, UFSCar

Ana Beatriz Neves Brito

Ana Beatriz Neves Brito
UFES

José Antonio Silveira Gonçalves

José Antonio Silveira Gonçalves
UFSCar

*Aos meus pais, Luis e Abigail,
pessoas mais importantes em minha vida.*

Aceite com sabedoria o fato de que o caminho está cheio de contradições.

Há momentos de alegria e desespero, confiança e falta de fé,

mas vale a pena seguir adiante.

(Paulo Coelho)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre presente em minha vida, iluminando e guiando meus passos, por ter me dado forças para seguir em frente nos momentos de desânimo.

Aos meus pais, Luis e Abigail, pelo amor incondicional, incentivos e por sempre acreditarem em mim. Amo muito vocês!

Às minhas irmãs, Pauline e Patrícia, por todo amor, amizade, incentivos e por estarmos sempre unidas.

A todos os meus familiares, pelo carinho demonstrado por mim.

Ao Ruan pelo amor, carinho, paciência, incentivo e ajuda. Mesmo estando longe, você esteve sempre junto comigo!

À minha orientadora Mônica Lopes Aguiar, pela orientação, amizade, apoio nos momentos de desânimo e por sempre acreditar em mim.

À Ana Livia, pela companhia e ajuda nos experimentos. Este trabalho também é seu Aninha!

Aos técnicos Oscar, Adilson e Juliana Milanez pelos socorros prestados.

À Anamaria e Isabel, companheiras de república, pela companhia e pelos momentos de descontração.

À Bruna e Renata pela acolhida em São Carlos, pela amizade e por tudo que vocês fizeram e fazem por mim.

Ao Eduardo (Japa) por todas as ajudas nos momentos de desespero e também pela amizade.

Aos amigos de Viçosa que continuaram sendo amigos em São Carlos e que continuarão sendo amigos por toda a vida: Anamaria, Bruna, Isabel, Renata, Sérgio, Giovana e Clarice. Obrigada pela presença constante!

A todos os amigos que fiz durante este tempo em São Carlos: Juliana, Ediane, Japa, Natália, Aruana, Robson, Ana Beatriz, Jaque, Vivi, Érica, Sandra Balu e Rose.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Controle Ambiental I.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro e ao Departamento de Engenharia Química da UFSCar pelas instalações para a realização deste trabalho.

RESUMO

A filtração é um dos mais importantes métodos utilizados na separação gás-sólido. Em um processo de filtração, um gás contendo partículas sólidas atravessa um meio filtrante poroso que retém as partículas. Estas partículas se depositam na forma de uma torta porosa à medida que a filtração acontece. A partir do momento em que a torta é formada, aumenta a resistência encontrada pelo gás ao atravessar o filtro, aumentando assim a queda de pressão do processo. Quando a queda de pressão é considerada relativamente alta, a torta deve ser removida por processos de limpeza, para minimizar a resistência encontrada pelo gás e conseqüentemente diminuir custos. Por isso, melhorias no processo de remoção da torta podem representar, em termos econômicos, ganhos significativos, além de contribuir em muito para um maior aperfeiçoamento do processo de filtração. Sendo assim, este trabalho objetiva investigar o comportamento da remoção de tortas de filtração de meios filtrantes através da determinação da força de adesão por unidade de área em diferentes condições operacionais, parâmetro este muito importante no processo de remoção de tortas, pois através dele é possível sugerir as melhores condições operacionais para uma remoção mais eficiente. Neste trabalho foram investigados dois tipos de materiais particulados, a rocha fosfática e o polvilho doce; três tipos de meios filtrantes, o polipropileno, o acrílico e o poliéster; três velocidades superficiais de filtração, de 5; 7,5 e 10 cm/s; cinco diferentes quantidades de pó depositada no filtro para cada velocidade de filtração correspondendo a aproximadamente, 0,039; 0,055; 0,064; 0,071 e 0,088 g/cm². A remoção das tortas de filtração foi efetuada pelo processo de fluxo de ar reverso passando por várias velocidades de limpeza de maneira sucessiva. Desse modo, cada meio filtrante foi limpo a uma velocidade menor, e logo em seguida a uma velocidade maior, passando pelas seguintes velocidades de limpeza: 0,5; 1; 2; 3; 6; 9; 12 e 15 cm/s. Portanto, para cada

uma destas velocidades de limpeza foi obtido um valor de queda de pressão correspondente. A força de adesão por unidade de área foi obtida através do método proposto por Seville *et al.* (1989). Através dos resultados obtidos verificou-se que os valores obtidos de força de adesão por unidade de área não sofreram influência da quantidade de pó depositada por unidade de área, os pontos experimentais se ajustaram em uma única curva; a rocha fosfática apresentou maiores valores de força de adesão por unidade de área quando comparado ao polvilho doce; os valores de força de adesão aumentaram com o aumento da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática e para o polvilho doce; o tecido de polipropileno foi o que obteve maiores valores de tensão de remoção seguido do acrílico e do poliéster; quanto maiores foram os valores de tensão de remoção, menores foram os valores obtidos para a distância de separação efetiva entre as partículas.

ABSTRACT

Gas filtration is one of the most important methods used in gas-solid separation. During a filtration process, a gas containing an amount of solid particles passes through a porous filter medium which retains the particles. Particles are deposited throughout the filtration process forming a porous cake. The resistance to gas flow through the filter increases when the filtration cake is formed, which makes pressure drop increase. Once pressure drop is considered relatively high, the cake must be removed with cleaning processes in order to minimize resistance to gas flow and, consequently minimize operational cost. Thus, cake removal enhancements might represent important earnings, besides contributing to filtration process improvements. Therefore, this study had the objective of investigating the behavior of gas filtration cake removal from filter media through the determination of adhesion force per unit area in different operational conditions. This parameter is very important during dust cake removal, once it makes it possible to propose the best operational conditions for a more efficient removal. In this work, two types of particulate matter, phosphate concentrate and manioc starch, and three types of filter media, polypropylene, acrylic and polyester, were studied. Three superficial filtration velocities (5; 7.5 and 10 cm/s) and five different amounts of powder deposited on the filter medium, which respectively correspond to 0.039; 0.055; 0.064; 0.071 and 0.088g/cm², were also examined. The dust cakes removal was performed by using the reverse air flow method, being the dust cakes submitted to various successive cleaning velocities. Therefore, each filter medium was cleaned at a lower velocity and, immediately afterwards, at a higher velocity, going through the following cleaning velocities 0.5; 1; 2; 3; 6; 9; 12 and 15 cm/s. Thus, a value of pressure drop was obtained for each cleaning velocity. The adhesion force per unit area was acquired with the method proposed by Seville *et al.* (1989). From the results obtained, it

was verified that the values of adhesion force per unit area found were not influenced by the amount of powder deposited per unit area; the experimental data fit a single curve; the phosphate concentrate presented higher values of adhesion force per unit area when compared to the manioc starch; adhesion force values increased with the increase in gas superficial filtration velocity for both phosphate concentrate and manioc starch; the polypropylene felt presented the highest removal tension values followed by the acrylic and polyester felts; and that the higher the removal tension values the lower the values obtained for the effective separation distance between particles.

Sumário

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xvi
NOMENCLATURA	xxi
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - Aspectos gerais da filtração de gases	3
2.2 – Tipos de tecidos utilizados	3
2.3 – Processos de captura de partículas	10
2.4 – Formação das tortas de filtração	11
2.5 – Remoção das tortas de filtração	13
2.6- Técnicas utilizadas para a remoção de tortas	15
2.6.1 – Limpeza por vibração mecânica	15
2.6.2 – Fluxo de ar reverso	15
2.6.3 – Pulso de ar reverso	16
2.7 – Alguns parâmetros importantes no processo de filtração	17
2.7.1 – Eficiência de coleta	18
2.7.2 – Queda de pressão	18
2.7.3 – Velocidade superficial de filtração	20
2.7.4 – Porosidade do meio filtrante	21
2.7.5 – Porosidade da torta.....	22
2.7.6 – Força de adesão	22
2.8- Teoria para resistência de um aglomerado de partículas	24
2.9 - Determinação da força de remoção da torta	25
3 – MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1- Equipamentos	31
3.1.1- Equipamento utilizado para filtração e limpeza	31
3.1.1.1 - Caixa de filtração.....	32
3.1.1.2 - Sistema de alimentação de pó	33
3.1.1.3 – Soprador	34
3.1.2 – Controle da umidade	34
3.1.3 - Manômetros medidores de pressão e vazão	35
3.2 – Outros equipamentos	36
3.3- Calibração da placa de orifício	36
3.4 – Caracterização dos materiais particulados	37
3.5 – Caracterização dos meios filtrantes	39
3.6 - Procedimento experimental	41

3.6.1 - Ensaio de filtração.....	42
3.6.2 - Limpeza do meio filtrante	44
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.2.1- Tensão de remoção da torta.....	57
4.2.1.1- Rocha Fosfática	58
4.2.1.2- Polvilho doce	62
4.3- Tensão de remoção em função do material particulado	66
4.4- Tensão de remoção em função do meio filtrante	68
4.5- Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração	70
4.6- Relação entre a Força de Adesão e a Tensão de Ruptura de um aglomerado de Partículas	71
5- CONCLUSÕES	76
6- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
<i>Anexo A.....</i>	<i>87</i>
<i>Anexo B.....</i>	<i>93</i>
<i>Anexo C.....</i>	<i>99</i>
<i>Anexo D.....</i>	<i>112</i>
<i>Anexo E.....</i>	<i>125</i>
<i>Anexo F.....</i>	<i>129</i>
<i>Anexo G.....</i>	<i>133</i>
<i>Anexo H.....</i>	<i>142</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Tipos de tecidos trançados	6
Fonte: Davis e Buonicore (1992)	6
Figura 2.2: Tipos de tecidos a) Trançado: trama plana, b) trançado: trama sarja 2/1 e c) Não trançado: feltro agulhado. Fonte: Rodrigues (2006)	8
Figura 2.3: Mecanismos de captura das partículas	10
Fonte: Voigt <i>et al.</i> (2008)	10
Figura 2.4: Esquema do processo de filtração	12
Fonte: Janoske (2008)	12
Figura 2.5: Remoção de um elemento de volume da torta de filtração	13
Fonte: Leith e Allen (1986)	13
Figura 2.6: Fenômeno “Patchy Cleaning”	14
Fonte: Dittler e Kasper (1999)	14
Figura 2.7: Técnica de limpeza por vibração mecânica.	15
Fonte: Renner têxtil Ltda, 2001	15
Figura 2.8: Técnica de limpeza por fluxo de ar reverso	16
Fonte: Renner têxtil Ltda, 2001	16
Figura 2.9: Limpeza pela técnica de pulso de ar reverso. a) Filtração do gás e b) Processo de limpeza. Fonte: Renner têxtil Ltda, 2001	17
Figura 2.10: Demonstração do método proposto por Seville <i>et al.</i> , (1989) a) Velocidade de limpeza por fração de massa retida b) Queda de pressão na limpeza por fração de massa retida e c) Queda de pressão na limpeza por velocidade de limpeza	28
Figura 3.1: Unidade experimental	31
Figura 3.2: Caixa de filtração fechada e aberta	32
Figura 3.3: Esquema do alimentador de pó	34
Figura 3.4: Colunas desumidificadoras contendo sílica gel	35
Figura 3.5: Fotografia dos materiais particulados a) Rocha Fosfática e b) Polvilho doce, gerados no MEV	38
Figura 3.6: Distribuição granulométrica dos materiais particulados	38
Figura 3.7: Microscopia eletrônica de varredura dos tecidos testados. Aumento de 50X: a) Acrílico; b) Polipropileno; c) Poliéster tratado. Fonte: Rodrigues (2006)	41
Figura 3.8: Filtro no momento da remoção da torta	45
Figura 4.1: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster	48
Figura 4.2: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática no tecido de polipropileno	50
Figura 4.3: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática no tecido de poliéster	50
Figura 4.4: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática no tecido de acrílico	51
Figura 4.5: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de polipropileno	52
Figura 4.6: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico	53
Figura 4.7: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce no tecido de Polipropileno	54
Figura 4.8: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce no tecido de Poliéster	55

Figura 4.9: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce no tecido de acrílico.....	55
Figura 4.10: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática e polvilho doce utilizando $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	56
Figura 4.11: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática e polvilho doce utilizando $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster.....	56
Figura 4.12: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática e polvilho doce utilizando $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico.....	57
Figura 4.13: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	58
Figura 4.14: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	59
Figura 4.15: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	60
Figura 4.16: Velocidade de limpeza em função da fração de massa retida para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico	63
Figura 4.17: Queda de pressão na limpeza em função da fração de massa retida para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico.....	63
Figura 4.18: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática e polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico	64
Figura 4.19: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico.....	64
Figura 4.20: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de polipropileno.....	67
Figura 4.21: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de poliéster.....	67
Figura 4.22: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de acrílico	68
Figura 4.23: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática nos tecidos de polipropileno, acrílico e poliéster.....	69
Figura 4.24: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para o polvilho doce nos tecidos de polipropileno, acrílico e poliéster.....	69
Figura 4.25: Distância de separação efetiva em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática.....	74
Figura 4.26: Distância de separação efetiva em função da velocidade superficial de filtração para o polvilho doce	74
Figura E.1: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster.....	126
Figura E.2: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster.....	126
Figura E.3: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico.....	127
Figura E.4: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico.....	127
Figura E.5: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico.....	127
Figura E.6: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de polipropileno	128
Figura E.7: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno	128

Figura E.8: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	128
Figura F.1: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster	130
Figura F.2: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster	130
Figura F.3: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster	130
Figura F.4: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico	131
Figura F.5: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico	131
Figura F.6: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico	131
Figura F.7: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de polipropileno	132
Figura F.8: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno	132
Figura F.9: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	132
Figura G.1: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster	134
Figura G.2: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster	134
Figura G.3: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster	134
Figura G.4: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster	135
Figura G.5: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster	135
Figura G.6: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster	135
Figura G.7: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster	136
Figura G.8: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster	136
Figura G.9: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster	136
Figura G.10: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico	137
Figura G.11: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico	137
Figura G.12: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico	137
Figura G.13: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico	138
Figura G.14: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico	138
Figura G.15: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico	138

Figura G.16: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico	139
Figura G.17: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico	139
Figura G.18: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico	139
Figura G.19: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno.....	140
Figura G.20: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno	140
Figura G.21: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno	140
Figura G.22: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	141
Figura G.23: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	141
Figura G.24: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno	141
Figura H.1: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster	143
Figura H.2: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster	143
Figura H.3: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster	143
Figura H.4: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster	144
Figura H.5: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster	144
Figura H.6: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster	144
Figura H.7: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster	145
Figura H.8: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster	145
Figura H.9: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster	145
Figura H.10: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico.....	146
Figura H.11: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico	146
Figura H.12: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico.....	146
Figura H.13: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico.....	147
Figura H.14: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico	147
Figura H.15: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico.....	147
Figura H.16: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de polipropileno	148

Figura H.17: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 5$ cm/s no tecido de polipropileno	148
Figura H.18: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5$ cm/s no tecido de polipropileno	148
Figura H.19: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de polipropileno	149
Figura H.20: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de polipropileno	149
Figura H.21: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de polipropileno	149
Figura H.22: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno	150
Figura H.23: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno	150
Figura H.24: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Velocidades de filtração e limpeza e vazões de gás utilizadas.....	37
Tabela 3.2: Caracterização dos materiais particulados.....	39
Tabela 3.3: Características dos meios filtrantes	40
Tabela 3.4: Condições operacionais utilizadas nos experimentos.....	42
Tabela 4.1: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para a Rocha fosfática.	61
Tabela 4.2: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para a Rocha fosfática.	61
Tabela 4.3: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para a Rocha fosfática.	62
Tabela 4.4: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para o polvilho doce.	65
Tabela 4.5: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para o polvilho doce.	66
Tabela 4.6: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para o polvilho doce.	66
Tabela 4.7: Força de adesão (F_c), porosidade média (ϵ) e distância de separação efetiva (a) para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de polipropileno nas velocidades superficiais de filtração de 5,0; 7,5 e 10,0 cm/s.	73
Tabela 4.8: Força de adesão (F_c), porosidade média (ϵ) e distância de separação efetiva (a) para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de poliéster nas velocidades superficiais de filtração de 5,0; 7,5 e 10,0 cm/s.	73
Tabela 4.9: Força de adesão (F_c), porosidade média (ϵ) e distância de separação efetiva (a) para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de acrílico nas velocidades superficiais de filtração de 5,0; 7,5 e 10,0 cm/s.	73
Tabela A1: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração	88
Tabela A2: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração	88
Tabela A3: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração	89
Tabela A4: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração	89
Tabela A5: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração	90
Tabela A6: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração	90
Tabela A7: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração.....	91
Tabela A8: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração.....	91

Tabela A9: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração.....	92
Tabela B1: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração	94
Tabela B2: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração	94
Tabela B3: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração	95
Tabela B4: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração	95
Tabela B5: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração	96
Tabela B6: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração	96
Tabela B7: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração.....	97
Tabela B8: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração.....	97
Tabela B9: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração.....	98
Tabela C1: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico.....	100
Tabela C2: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de acrílico.....	100
Tabela C3: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico.....	100
Tabela C4: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico.....	100
Tabela C5: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico.....	101
Tabela C6: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico	101
Tabela C7: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5min, no tecido de acrílico	101
Tabela C8: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico	101
Tabela C9: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico	102
Tabela C10: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico	102
Tabela C11: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico	102
Tabela C12: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de acrílico	102
Tabela C13: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico	103
Tabela C14: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico	103
Tabela C15: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico	103

Tabela C16: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster.....	103
Tabela C17: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster.....	104
Tabela C18: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster.....	104
Tabela C19: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster.....	104
Tabela C20: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster.....	104
Tabela C21: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster.....	105
Tabela C22: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster.....	105
Tabela C23: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster.....	105
Tabela C24: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster.....	105
Tabela C25: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster.....	106
Tabela C26: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster.....	106
Tabela C27: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster.....	106
Tabela C28: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster.....	106
Tabela C29: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster.....	107
Tabela C30: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster.....	107
Tabela C31: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno.....	107
Tabela C32: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno.....	107
Tabela C33: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno.....	108
Tabela C34: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno.....	108
Tabela C35: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno.....	108
Tabela C36: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno.....	108
Tabela C37: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno.....	109
Tabela C38: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno.....	109
Tabela C39: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno.....	109
Tabela C40: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno.....	109

Tabela C41: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno.....	110
Tabela C42: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno.....	110
Tabela C43: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno.....	110
Tabela C44: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno.....	110
Tabela C45: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno.....	111
Tabela D1: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico.....	113
Tabela D2: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de acrílico.....	113
Tabela D3: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico.....	113
Tabela D4: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico.....	113
Tabela D5: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico.....	114
Tabela D6: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico.....	114
Tabela D7: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5min, no tecido de acrílico.....	114
Tabela D8: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico.....	114
Tabela D9: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico.....	115
Tabela D10: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico.....	115
Tabela D11: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico.....	115
Tabela D12: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de acrílico.....	115
Tabela D13: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico.....	116
Tabela D14: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico.....	116
Tabela D15: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico.....	116
Tabela D16: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster.....	116
Tabela D17: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster.....	117
Tabela D18: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster.....	117
Tabela D19: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster.....	117
Tabela D20: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster.....	117

Tabela D21: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster.....	118
Tabela D22: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster.....	118
Tabela D23: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster.....	118
Tabela D24: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster.....	118
Tabela D25: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster.....	119
Tabela D26: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster.....	119
Tabela D27: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster.....	119
Tabela D28: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster.....	119
Tabela D29: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster.....	120
Tabela D30: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster.....	120
Tabela D31: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno.....	120
Tabela D32: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno.....	120
Tabela D33: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno.....	121
Tabela D34: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno.....	121
Tabela D35: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno.....	121
Tabela D36: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno.....	121
Tabela D37: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno.....	122
Tabela D38: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno.....	122
Tabela D39: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno.....	122
Tabela D40: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno.....	122
Tabela D41: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno.....	123
Tabela D42: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno.....	123
Tabela D43: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno.....	123
Tabela D44: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno.....	123
Tabela D45: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno.....	124

NOMENCLATURA

a	Distância de separação efetiva entre partículas [L]
A	Área superficial de filtração [L ²]
d_1	Diâmetro da partícula 1 [L]
d_2	Diâmetro da partícula 2 [L]
d_p	Diâmetro médio das partículas [L]
F	Forças interparticulares individuais [M L t ⁻²]
F_c	Força de adesão [M L t ⁻²]
F_{vw}	Forças de Van der Waals [M L t ⁻²]
H	Constante de Hamaker [M L ² t ⁻²]
K_1	Resistência específica do meio filtrante [M L ⁻² t ⁻¹]
K_2	Resistência específica da torta [t ⁻¹]
L	Espessura do meio filtrante e da torta [L]
M	Massa da torta [M]
n	Número médio de contatos partícula-partícula por unidade de área [L ⁻²]
Q	Vazão Mássica de pó [M t ⁻¹]
Q_F	Vazão volumétrica de gás na filtração [L ³ t ⁻¹]
Q_L	Vazão volumétrica de gás na limpeza [L ³ t ⁻¹]
t	Tempo de filtração [t]
V_c	Velocidade superficial do gás na limpeza [L t ⁻¹]
V_F	Velocidade superficial de filtração [L t ⁻¹]
W	Massa de pó depositada por unidade de área [M L ⁻²]
W_{Ei}	Massa total de pó depositada durante a filtração [M]
W_{Ri}	Massa retida no filtro após limpeza [M]

ΔH	Diferença de altura [L]
ΔP	Queda de pressão através de um leito poroso [M L ⁻¹ t ⁻²]
ΔP_t	Queda de pressão total [M L ⁻¹ t ⁻²]
ΔP_m	Queda de pressão no filtro[M L ⁻¹ t ⁻²]
ΔP_c	Queda de pressão na torta na filtração [M L ⁻¹ t ⁻²]
ΔP_{Cc}	Queda de pressão na torta na limpeza [M L ⁻¹ t ⁻²]
ΔP_{Pc}	Queda de pressão na limpeza [M L ⁻¹ t ⁻²]
ΔP_{tc}	Queda de pressão na torta no momento da ruptura [M L ⁻¹ t ⁻²]
ε	Porosidade de torta
γ	Fração mássica retida na torta
ρ_p	Densidade da partícula [M L ⁻³]
ρ_g	Densidade do gás [M L ⁻³]
σ	Tensão normal [M L ⁻¹ t ⁻²]
σ_A	Tensão normal à superfície da torta [M L ⁻¹ t ⁻²]
σ_r	Tensão de ruptura [M L ⁻¹ t ⁻²]
σ_c	Tensão de cisalhamento [M L ⁻¹ t ⁻²]
μ	Viscosidade do gás [M L ⁻¹ t ⁻¹]

1 – INTRODUÇÃO

Com o advento da industrialização, observou-se um crescente desenvolvimento e aumento da poluição ambiental, em especial a poluição atmosférica. Este tipo de poluição começou a ser preocupante à medida que foram surgindo novas formas de obtenção de energia. Primeiramente, a queima do carvão, em seguida o surgimento das indústrias e posteriormente e atualmente a utilização do petróleo e seus derivados como combustíveis.

Atualmente, a minimização da emissão de poluentes na atmosfera passou a ser encarada como uma questão primordial, uma vez que afeta a qualidade de vida da população e também a preservação do meio ambiente. Devido a isto, muitos estudos têm sido realizados a fim de controlar os níveis de emissão de poluentes e atender as normas da legislação vigente.

Dentre os métodos de limpeza de gases, a filtração vem se destacando dentre os demais. É um dos métodos mais comuns na coleta de material particulado, já que utiliza um equipamento de grande eficiência e pouco sensível às mudanças nas condições operacionais (Hinds, 1999).

Um equipamento pioneiro utilizado para controlar a emissão de materiais particulados provenientes destas novas fontes de poluição é o filtro de tecido, industrialmente conhecido como filtro de manga. Eles são relativamente baratos, são de fácil operação e altamente eficientes na coleta de materiais particulados de uma ampla faixa granulométrica (Donovan, 1985). Para as indústrias, é importante também recuperar o material particulado que geralmente apresenta algum valor econômico agregado.

Em um experimento de filtração, com o decorrer dela, a espessura da torta de filtração aumenta, sendo responsável pelo acréscimo da queda de pressão

através do filtro. Diante disso, o filtro deve ser limpo periodicamente a fim de manter baixos níveis de queda de pressão. Desse modo, a força de adesão por unidade de área (tensão de remoção) torna-se uma ferramenta importante no processo de limpeza de tecidos, pois a partir dela é possível investigar quais condições operacionais são mais adequadas para se obter uma limpeza eficiente dos tecidos associada a um baixo consumo energético. Sendo assim, este trabalho objetiva determinar a força de adesão por unidade de área de tortas de filtração de gases em diferentes condições operacionais. Este parâmetro merece uma especial atenção, pois tem sido essencial em projetos de filtros industriais; quando é subestimado, a remoção da torta pode ser pouco eficiente, e quando é superestimada, pode causar um desgaste no filtro, diminuindo sua vida útil e assim, aumentando também o custo do processo (Silva *et al.*,1999).

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Aspectos gerais da filtração de gases

Os filtros de tecido ou também conhecidos como filtros de manga, tem sido utilizados na maioria dos processos industriais para o controle das emissões de efluentes gasosos na atmosfera. Isto é devido a sua facilidade de operação e também devido a sua alta eficiência, podendo chegar a até 99,9% na remoção de partículas sólidas numa ampla faixa granulométrica (Silva *et al.*, 1999).

No processo de filtração, um gás contendo partículas sólidas atravessa um meio filtrante poroso que retém as partículas. Inicialmente, estas partículas se depositam no interior do meio filtrante e posteriormente se depositam na sua superfície, formando a torta de filtração. Com a formação da torta de filtração, a eficiência de coleta das partículas aumenta, pois a camada de pó também passa a atuar como um filtro para as partículas em suspensão, mas também aumenta a queda de pressão pelo filtro, pois é maior a resistência encontrada pelo gás ao atravessar o filtro.

Uma vez formada a torta, é necessário realizar a limpeza deste meio filtrante. A remoção desta camada de pó do meio filtrante deve ocorrer quando a queda de pressão no filtro é considerada relativamente alta podendo ultrapassar o gasto energético estipulado por uma indústria.

2.2 – Tipos de tecidos utilizados

Os tipos de tecidos utilizados em filtrações industriais englobam uma grande variedade de materiais, incluindo tecidos trançados e tecidos não trançados, também chamados de feltros. Os materiais de fabricação envolvem cerdas naturais, artificiais e sintéticas. As primeiras fibras a serem utilizadas foram as naturais, principalmente a lã e o algodão. Embora estas fibras possuam algumas limitações de suas propriedades físicas, elas

ainda são empregadas em muitas aplicações de filtração (Donovan, 1985). Atualmente, as fibras sintéticas são mais utilizadas que as fibras naturais, pois apresentam baixo custo, maior resistência química e mecânica e um menor diâmetro das fibras. As fibras sintéticas mais utilizadas incluem acetatos, acrílicos, poliamidas dentre outros materiais. Para altas temperaturas usa-se teflon, ryton e algumas fibras de carbono também têm sido desenvolvidas para esta aplicação. No entanto, o material sintético mais utilizado neste caso é a fibra de vidro.

A fibra de poliéster, por exemplo, tem uma baixa resistência ao calor úmido, o que leva a uma redução na durabilidade desta fibra. Barnett (2000) realizou um ensaio para testar a fibra de poliéster. A uma umidade relativa de 10% e operando a uma temperatura de 140°C, a fibra de poliéster resultou numa redução de 12% na durabilidade depois de 7 dias de operação.

Em 1991, a temperatura máxima suportável para um filtro disponível comercialmente era de cerca de 260°C. Este fato mudou com o advento dos filtros cerâmicos e metálicos (Davis e Buonicore, 1992).

A seleção adequada dos tecidos a serem utilizados como meio filtrante depende da compatibilidade destes com o material particulado a ser coletado e das características e aplicações de cada processo de filtração, que abrangem a temperatura, a abrasão, a energia de absorção, as propriedades da filtração, a resistência a álcalis, a ácidos, a oxigênio e o custo relativo do material (Barnett, 2000).

O desempenho satisfatório de um filtro de tecido requer a seleção tanto do material a ser utilizado quanto de um projeto apropriado para a geometria do coletor de pó e dos requisitos de limpeza. Deve-se ressaltar que tanto as fibras, os fios e todos os parâmetros do tecido influenciam no processo de filtração.

A resistência do tecido, a estabilidade e a flexibilidade são parâmetros importantes na determinação da capacidade do tecido em resistir ao desgaste causado pela abrasão. O termo “abrasão” é definido como uma erosão das fibras do tecido ou do material da superfície da fibra que resulta do contato entre a fibra e as partículas de pó ou entre as fibras adjacentes. Outra característica importante que deve ser levada em consideração no critério de seleção é a capacidade do tecido em liberar, durante o processo de limpeza, o pó coletado durante a filtração. Esta capacidade depende do modo e intensidade da limpeza, mas também do caráter adesivo do tecido. A flexibilidade do tecido pode facilitar a limpeza, melhorando a remoção de pó, mas esta propriedade pode facilitar a degradação do tecido, reduzindo a vida útil do mesmo. Portanto, deve-se ter cuidado com a flexibilidade do tecido, pois ela pode ser necessária ou prejudicial ao processo.

A maneira pela qual o tecido é confeccionado é uma das características que determinam a deposição e eliminação do pó do meio. No entanto, não se tem um conhecimento detalhado sobre isto. Sabe-se apenas que uma superfície de tecido lisa libera o pó com mais facilidade do que uma superfície felpuda. Isto porque o pó pode ficar retido nas fibras de uma superfície felpuda e dificultar a limpeza (Martins, 2001). A seguir, serão apresentadas as formas de confecção dos tecidos.

2.2.1- Tecido trançado

Dentre os tecidos utilizados nas filtrações estão os trançados e os não-trançados. Segundo a ABNT/TB-392, um tecido é considerado trançado quando ele é confeccionado por entrelaçamento dos fios de trama formando um ângulo de (ou próximo) 90°. Dentre os tipos de tecidos trançados estão os trançados planos, sarja e cetim.

O mais simples deles é o trançado plano, com cada fio da trama passando acima e abaixo de um conjunto de fios que correm longitudinalmente a um pano (urdume). O

segundo tipo, o sarja, é formado pelo entrelaçamento de 1 a 4 fios longitudinais em seqüência ao transversal. Ao fim de cada linha sucessiva, o padrão é mudado em um passo para a direita ou à esquerda. O tipo sarja é mais resistente e flexível do que o plano. Já o terceiro tipo de tecido trançado, o cetim, é formado pelo entrelaçamento de mais de quatro fios longitudinais, entrelaçados um de cada vez. Este tipo de entrelaçamento é que promove o acabamento acetinado ao tecido. Eles são menos resistentes e podem aparecer de duas maneiras, sendo uma a face de fios longitudinais e outra de fios transversais. A Figura 2.1 ilustra estes três tipos de entrelaçamento.

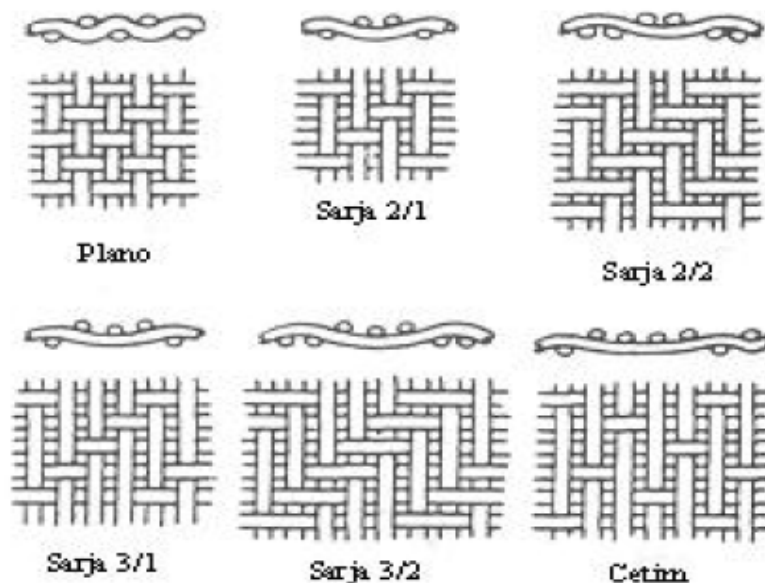


Figura 2.1: Tipos de tecidos trançados
 Fonte: Davis e Buonicore (1992)

2.2.2- Tecidos não trançados ou feltros

Tecidos não trançados, também conhecidos como feltros, podem também ser utilizados como tecidos para filtrações. Feltros são não-tecidos formados por uma estrutura plana, flexível e porosa, que possui um véu e uma manta de filamentos orientados na mesma direção ou ao acaso e unidos por via mecânica, química ou térmica ou por suas combinações.

Este tipo de tecido é eficiente quando se trata de pós mais pesados, como por exemplo, areia, pedra calcária e grãos. Na maioria das vezes, os tecidos não-trançados possuem maior vida útil, mas possuem maior resistência ao fluxo do que os tecidos trançados (Mycock *et al.*, 1995).

A fabricação dos feltros se inicia pela formação de uma manta, constituída por uma ou mais camadas de véus. Estes véus são obtidos por processos de cardagem, por fluxo de ar, por deposição eletrostática, por suspensão em meio líquido ou por fiação direta de filamentos contínuos. Em seguida, a manta é consolidada por processos químicos, utilizando resina, secagem e polimerização; por meios mecânicos, usando agulhas que entrelaçam as fibras, costuras ou jatos de água; ou físicos, utilizando calor e pressão. Pelo próprio processo de produção, os feltros exibem muito mais poros por unidade de área que os tecidos trançados (Hardman, 2001).

Donovan (1985) afirmou que em tecidos não trançados a formação da torta ocorre mais lentamente que em tecidos trançados. Isto porque o espaço disponível para passagem do fluxo em um tecido trançado é mais concentrado que em um não trançado, e o bloqueio desta passagem ocorre mais rapidamente por causa deste fluxo concentrado.

Theodore e Buonicore (1998) afirmam que os feltros limpos são mais eficientes que tecidos trançados limpos, mas que estes últimos são capazes de alcançar eficiências comparáveis após uma camada de partículas ter se acumulado em sua superfície. Na indústria, este processo de formação da torta pode durar, dependendo da carga e da natureza das partículas, desde algumas horas até alguns dias. Por esse motivo, no caso dos tecidos trançados, deve-se cuidar para que a limpeza não elimine completamente a camada superficial da torta, o que diminuiria a eficiência da filtração. Como afirmam os autores, este problema é mais difícil de ocorrer nos feltros pela grande quantidade de partículas retidas no

interior do tecido após a limpeza. Assim, os feltros necessitariam de técnicas de limpeza mais rigorosas, empregando freqüentemente métodos de pulso de ar.

A Figura 2.2 mostra alguns exemplos de tecidos trançados e não trançados (feltros).

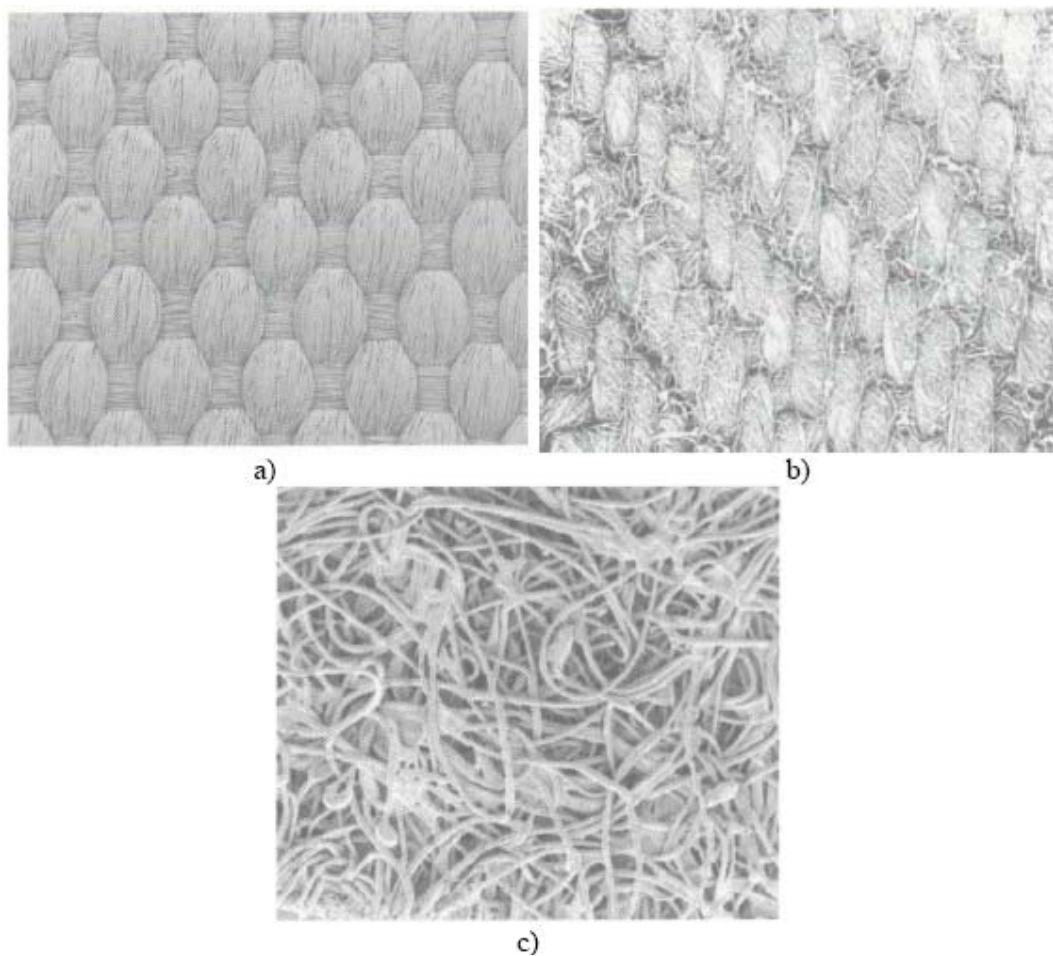


Figura 2.2: Tipos de tecidos a) Trançado: trama plana, b) trançado: trama sarja 2/1 e c) Não trançado: feltro agulhado. Fonte: Rodrigues (2006)

2.2.3- Métodos de tratamento de tecidos

Para melhorar a liberação da torta de pó durante a limpeza, os tecidos vêm sendo submetidos a uma modificação na sua superfície. Existem várias formas de tratamentos de tecidos para melhorar o desempenho dos meios filtrantes utilizados no processo de

filtração, dentre eles os mecânicos, térmicos e químicos (Donovan, 1985). Estes tipos de tratamentos serão descritos a seguir:

Calandragem: Processo utilizado para tecidos não trançados, onde o tecido passa através de rolos quentes que o comprimem uma ou mais vezes, agindo como um compactador, fundindo a superfície das fibras. Na calandragem a quente, a temperatura é uma variável do processo.

Envernizamento ou envidramento: Processo onde se tem uma calandragem a quente bem controlada, onde ocorre a fusão das fibras da superfície, conferindo aspecto vitrificado (Donovan, 1985).

Escovação: Nesta operação, uma vigorosa escovação da superfície resulta no levantamento dos fios do tecido. Esta técnica é aplicada em tecidos trançados, onde a eficiência inicial de coleta é baixa (Rothwell, 1989).

Chamuscagem: Este processo utiliza uma chama para eliminar fibras preponderantes da superfície, como se fosse um processo inverso à escovação. Este processo evita que as fibras da superfície sejam incorporadas à torta e formem uma espécie de “armadilha”, dificultando a limpeza.

Impregnação química: Consiste na imersão do tecido em banho químico. Este processo é utilizado para melhorar o desempenho do filtro, reduzindo o ataque químico, aumentando a resistência aos ácidos, facilitando a liberação da torta e retardando a propagação da chama (Clark, 2001).

Alguns meios filtrantes podem receber tratamento antiestático, tratamento de orientação das fibras, recobrimento com membranas, receber resinagem com PTFE, ou ainda, ser plastificado em um ou ambos os lados, além de muitos outros tipos de tratamentos disponíveis (Lora, 2002).

2.3 – Processos de captura de partículas

Em um processo de filtração, as partículas são coletadas quando o tamanho dos poros do meio filtrante for menor que o diâmetro das partículas. Os principais mecanismos que governam esta captura são: impactação inercial, interceptação direta, difusão e atração eletrostática (Voigt *et al.*, 2008). A Figura 2.3 ilustra estes quatro tipos de mecanismos.

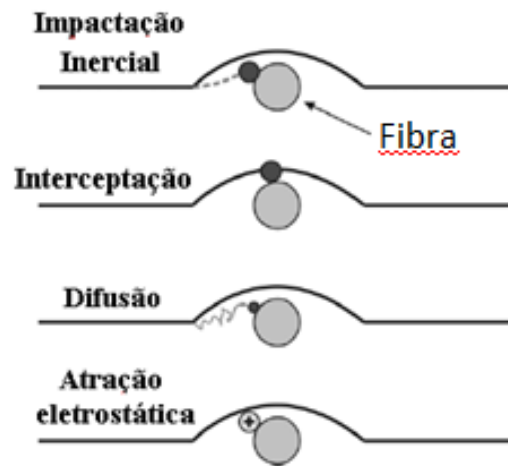


Figura 2.3: Mecanismos de captura das partículas
 Fonte: Voigt *et al.* (2008)

Existe também o mecanismo gravitacional, onde as partículas sofrem o efeito da gravidade, que causa um desvio da sua trajetória normal. Este mecanismo é mais eficiente quando o fluxo ocorre de cima para baixo e também para baixas velocidades do gás e grandes partículas.

O mecanismo inercial ocorre devido à inércia das partículas. Quando as partículas não conseguem seguir o fluxo do gás, acabam se chocando com as fibras e aderindo ao filtro. Quanto maior a energia cinética das partículas, maior a eficiência de coleta por este tipo de mecanismo.

O mecanismo por interceptação direta é um mecanismo que depende do tamanho da partícula, sendo ela coletada quando se aproxima da fibra a uma distância igual a

seu raio, sendo especialmente importante quando se trabalha com partículas maiores que 1 μm .

Difusão ou movimento Browniano: esse mecanismo é bastante eficiente para partículas muito pequenas. Neste caso as partículas são tão pequenas e possuem tão pouca massa que não seguem as linhas de corrente. A partícula pode colidir com a fibra durante esse movimento randômico e ser coletada (Donovan, 1985).

O último mecanismo a ser destacado será a deposição por atração eletrostática. Este mecanismo ocorre quando há presença de cargas eletrostáticas devido a choques ou atritos entre partículas e o meio filtrante, ou também pode ser gerada pelo sistema. Neste tipo de mecanismo, a eficiência de coleta sofre influência destas forças.

De acordo com Song e Park (2006), considerando partículas muito pequenas, os mecanismos inercial, gravitacional e por interceptação direta não são eficientes e podem ser descartados, neste caso o mecanismo dominante é a difusão. Já para o caso de partículas muito grandes, o mecanismo inercial é que domina o processo de coleta de partículas.

2.4 – Formação das tortas de filtração

À medida que um gás “sujo” atravessa um meio filtrante poroso, as partículas vão sendo depositadas, tanto no interior do meio filtrante quanto na superfície deste.

Inicialmente, algumas partículas de pó vão se adentrando no interior do meio filtrante ficando aderidas às fibras do tecido. Esta fase do processo de filtração é conhecida como filtração interna. Nos momentos iniciais da filtração, há uma baixa eficiência.

Com o decorrer da filtração, as fibras do tecido ficam saturadas, e as partículas de pó ficam retidas na superfície do meio filtrante, formando a torta de filtração. Esta torta também funciona como um filtro para posteriores partículas, aumentando assim a eficiência

do processo de filtração, pois as partículas terão mais dificuldade para atravessar o meio filtrante. A Figura 2.4 representa um processo de filtração.

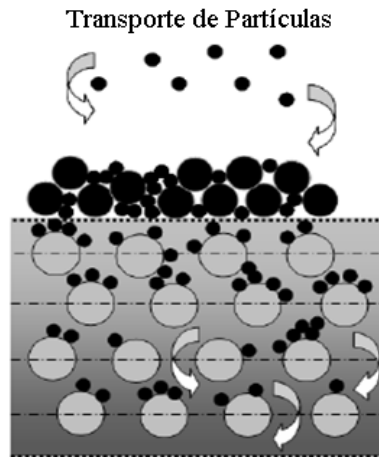


Figura 2.4: Esquema do processo de filtração
Fonte: Janoske (2008)

Durante a filtração, a formação da torta causa efeitos opostos: por um lado, o efeito positivo está associado à eficiência de filtração, e por outro lado, o efeito negativo está relacionado com o aumento na queda de pressão (Simon *et al.*, 2007).

A espessura da torta de filtração aumenta com o decorrer do tempo, sendo responsável pelo aumento da queda de pressão através do filtro. Esta torta deve ser removida quando atinge um limite de queda de pressão que é considerado adequado para o processo (Saleem e Krawmer, 2007). Devido a isto, é necessária a limpeza periódica do meio filtrante, a fim de manter uma baixa queda de pressão.

Um processo ideal de filtração está relacionado com uma máxima eficiência e uma mínima queda de pressão.

2.5 – Remoção das tortas de filtração

O mecanismo de remoção da torta pode ser estudado considerando um balanço de forças em um elemento de volume da torta. A tensão total requerida para remover um elemento (σ_r) tem dois componentes: a primeira é a tensão normal à superfície da torta (σ_A), que é requerida para remover o elemento na interface com o tecido (área de adesão), já a segunda é a tensão de cisalhamento (σ_C) necessária para remover o elemento nas interfaces laterais (área de coesão) com o restante da torta. As forças que prendem o elemento ao tecido são denominadas forças de adesão e mantêm unidas as partículas da torta aos componentes do tecido, enquanto que as forças que prendem o elemento ao restante da torta são denominadas forças de coesão e estão relacionadas à interação entre as partículas que formam a torta e, portanto está relacionada com a espessura da torta. Este fenômeno pode ser mais bem entendido através da Figura 2.5:

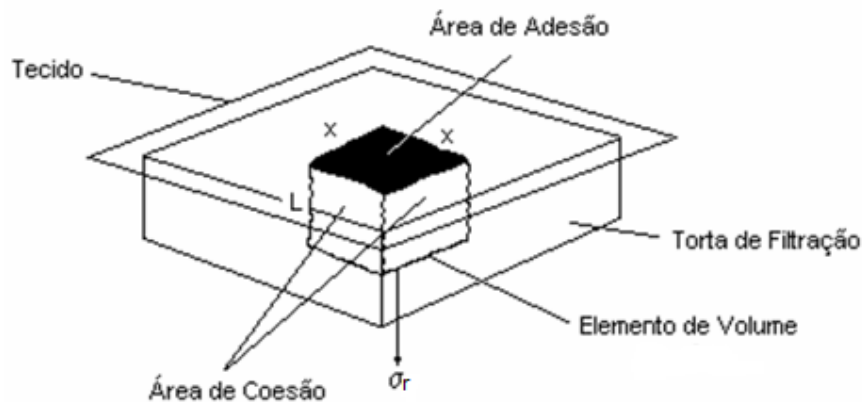


Figura 2.5: Remoção de um elemento de volume da torta de filtração
Fonte: Leith e Allen (1986)

O objetivo da limpeza da torta é que o meio filtrante retorne as suas propriedades iniciais. Na realidade, o desempenho do filtro depois da limpeza da torta é caracterizado por uma queda de pressão residual, pois as propriedades do meio filtrante não serão como eram inicialmente devido ao fato de a torta não ser totalmente removida (Callé *et al.*, 2002).

Quando a remoção da torta é incompleta, é observado um fenômeno chamado de “patchy cleaning” (limpeza por blocos) (Dittler *et al.*, 2002). Neste fenômeno, parte da torta é removida e outras permanecem intactas, como pode ser observado na Figura 2.6.

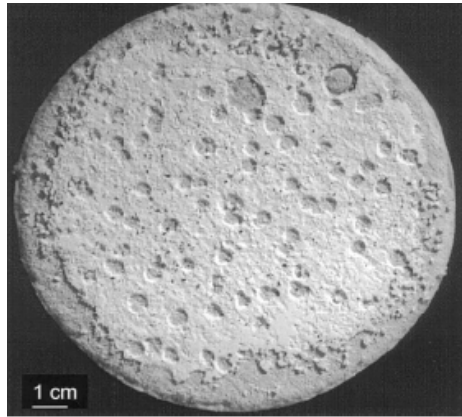


Figura 2.6: Fenômeno “Patchy Cleaning”
Fonte: Dittler e Kasper (1999)

Koch *et al.* (1996) explica o porquê da ocorrência deste fenômeno. Para eles, isto ocorre devido à torta e o meio filtrante não serem uniformes, logo possuem propriedades que variam por região, existindo então regiões mais fracas que possuem uma menor força de adesão entre a torta e o meio filtrante. Sendo assim, os locais em que a força de adesão entre a torta e o meio filtrante são mais fracas, são as áreas onde as rachaduras se iniciam e propagam mais rapidamente.

Seville *et al.* (1989) perceberam que o “*patchy cleaning*” varia conforme as mudanças operacionais. Grandes massas de torta, altas temperaturas e compressão da torta por altas velocidades podem influenciar esse processo de limpeza por blocos.

A força de coesão também tem um papel importante na limpeza da torta. Quanto maior a força de coesão, maior o tamanho dos fragmentos de torta destacados (Callé *et al.*, 2001).

2.6- Técnicas utilizadas para a remoção de tortas

O desprendimento da torta formada no meio filtrante pode ser realizado por várias técnicas de limpeza de filtros, dentre as quais as mais utilizadas serão descritas a seguir:

2.6.1 – Limpeza por vibração mecânica

É uma técnica muito antiga e de custo relativamente baixo. Geralmente o tecido é vibrado através de um motor excêntrico que provoca uma vibração causando uma aceleração no tecido, que é função da frequência e da amplitude da vibração que promove a limpeza. A utilização desta técnica necessita da interrupção do processo de filtração para a realização da limpeza, que geralmente dura em torno de 2 a 5 minutos. A Figura 2.7 ilustra este processo.

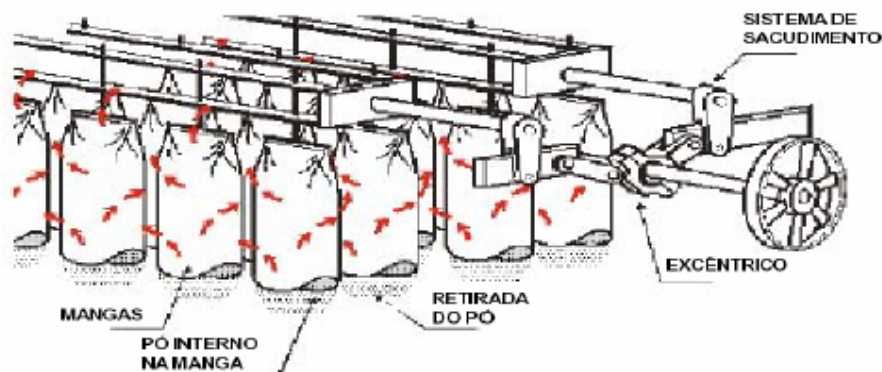


Figura 2.7: Técnica de limpeza por vibração mecânica.
Fonte: Renner têxtil Ltda, 2001

2.6.2 – Fluxo de ar reverso

A técnica de limpeza por fluxo de ar reverso consiste na passagem de ar limpo no sentido inverso ao da filtração e é realizada até que uma quantidade significativa da torta seja removida, obtendo uma redução na queda de pressão. O tempo de limpeza também varia

de 2 a 5 minutos. Quando comparado à técnica de limpeza por vibração mecânica, a técnica por fluxo de ar reverso é mais vantajosa, pois tem menor impacto mecânico, possibilitando uma maior vida útil do meio filtrante. A Figura 2.8 ilustra um processo de filtração com posterior limpeza utilizando a técnica por fluxo de ar reverso.

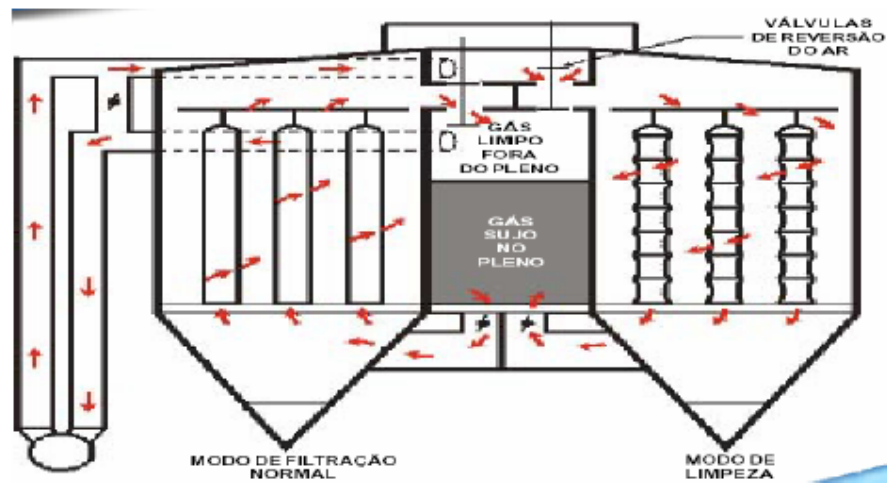


Figura 2.8: Técnica de limpeza por fluxo de ar reverso
Fonte: Renner têxtil Ltda, 2001

2.6.3 – Pulso de ar reverso

Esta técnica é a mais recente e a que está sendo mais utilizada industrialmente. Ela consiste na passagem de um jato de ar limpo forçado na direção inversa ao fluxo normal da filtração. Sua principal vantagem é que a limpeza ocorre em fração de segundos, não necessitando interromper o processo de filtração. Esta técnica apresenta uma desvantagem, que está relacionado com um menor tempo de vida útil do meio filtrante, devido ao maior desgaste das fibras. A Figura 2.9 ilustra um processo de filtração com posterior limpeza utilizando a técnica por pulso de ar reverso.

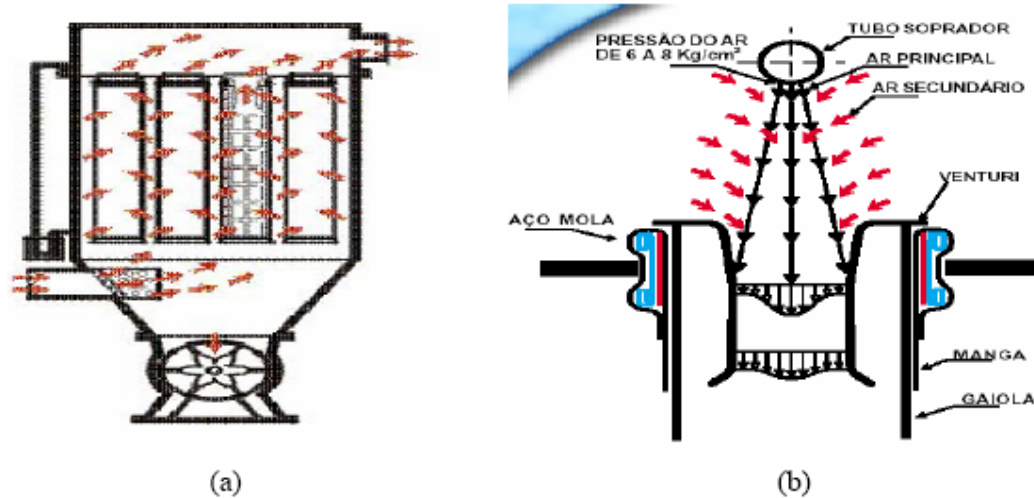


Figura 2.9: Limpeza pela técnica de pulso de ar reverso. a) Filtração do gás e b) Processo de limpeza. Fonte: Renner têxtil Ltda, 2001

2.7 – Alguns parâmetros importantes no processo de filtração

Para que um processo de filtração alcance o sucesso, é necessário estudar melhor alguns parâmetros muito importantes.

A eficiência de coleta e a queda de pressão são os dois principais parâmetros que descrevem o desempenho de filtros durante a filtração. A eficiência de coleta e a queda de pressão são mais baixas quando o filtro está limpo e elas aumentam com o aumento de partículas depositadas no filtro (Balazy e Podgórski, 2008). Se tratando do processo de limpeza dos filtros (remoção da torta), o parâmetro que se deve levar em consideração é a força de adesão torta-tecido. Neste estágio, deve-se ter uma especial atenção por este parâmetro, pois ele tem sido essencial em projetos de filtros industriais para a melhoria da limpeza das mangas.

Serão descritos a seguir, alguns parâmetros muito importantes que devem ser levados em consideração para o sucesso do processo de filtração.

2.7.1 – Eficiência de coleta

A eficiência de coleta aumenta à medida que as partículas vão sendo depositadas no filtro, ou seja, com a formação da torta de filtração. Esta torta passa a atuar como um filtro para partículas posteriores. Este parâmetro é de extrema importância, pois se espera em um processo de filtração que o “gás sujo” ao ser filtrado, saia totalmente limpo, sem a presença de partículas.

A eficiência de coleta depende da estrutura dos filtros (porosidade, diâmetro das fibras e espessura do filtro), das condições operacionais (velocidade de filtração, temperatura e umidade) e em particular, das características do gás filtrado (densidade e tamanho das partículas) (Steffens e Coury, 2007).

No caso de filtros de tecido, a eficiência de coleta é normalmente bastante alta (superior a 99% para partículas micrométricas), satisfazendo na maioria das vezes os limites estipulados de emissão de material particulado.

2.7.2 – Queda de pressão

A queda de pressão ou perda de carga é um dos mais importantes parâmetros a ser analisado, pois descreve a resistência enfrentada pelo gás ao atravessar o filtro. A queda de pressão é determinada pela diferença de pressão em dois pontos geralmente na entrada e saída do gás (Seville, 1997).

O aumento da queda de pressão em um sistema ocorre à medida que as partículas vão sendo depositadas. Este parâmetro é muito importante, uma vez que determina a frequência de limpeza do filtro (Jeon e Jung, 2004). Além disso, a máxima perda de carga antes da limpeza pode ser empregada para determinar a potência requerida no sistema. Os

valores de queda de pressão operacionais são geralmente na faixa de 750 a 2000 Pa (Seville, 1997).

A queda de pressão pelo filtro depende da permeabilidade do filtro, da velocidade de filtração e da viscosidade do gás; já a queda de pressão pela torta de pó depende da área da torta, da concentração do pó, da velocidade de filtração e da resistência específica da torta (Saleem e Krammer, 2007).

De acordo com Aguiar (1991), no início da filtração pode-se notar um comportamento não linear da queda de pressão com o tempo, sendo que este comportamento tende a se linearizar após a formação da torta. Esta observação é confirmada pelo trabalho de Schimidt (1995), que constatou um período de transição inicial, sendo que o tempo de duração da deposição das partículas no interior do tecido foi apenas de alguns segundos, seguido por outra fase em que a permeabilidade permaneceu constante, sem alteração da torta. Porém, com o decorrer do tempo de filtração, o autor notou um afastamento da linearidade, com aumento do coeficiente angular, atribuindo isto à compressibilidade da torta.

A queda de pressão total de um sistema de filtração é considerada como a soma da queda de pressão pelo filtro e a queda de pressão pela torta de pó formada. Pode ser equacionada da seguinte forma:

$$\Delta P_t = \Delta P_m + \Delta P_c \quad (2.1)$$

em que ΔP_t é a queda de pressão total do sistema, ΔP_m a queda de pressão no filtro e ΔP_c a queda de pressão através da torta de pó.

Considerando a teoria Darciana para descrever o comportamento da queda de pressão através do meio filtrante e também através da torta de filtração, e considerando baixos

valores de Reynolds, temos então a equação da filtração que descreve a queda de pressão total:

$$\Delta P_t = K_1 \cdot V_F + K_2 \cdot V_F \cdot W \quad (2.2)$$

em que K_1 é a resistência específica do meio filtrante, K_2 é a resistência específica da torta, V_F é a velocidade superficial do gás e W é a massa de pó depositada por unidade de área.

2.7.3 – Velocidade superficial de filtração

A velocidade superficial de filtração é um parâmetro muito importante que deve ser analisado no processo de filtração de gases. Ela influencia em praticamente todos os outros parâmetros essenciais no processo. Está diretamente relacionada com o tempo de filtração, com a profundidade que as partículas conseguem penetrar no meio filtrante e conseqüentemente com o processo de limpeza e o desgaste do meio filtrante.

Quando se trabalha com altas velocidades de filtração, o tempo necessário para o processo é menor, mas a penetração das partículas nas fibras do meio filtrante aumenta, dificultando assim o processo de limpeza do meio filtrante. Devido a isso, o tempo de vida útil do tecido diminui.

Analisando baixas velocidades de filtração, é necessário um maior fornecimento de energia, devido ao longo tempo de filtração, mas as partículas ficam menos aderidas às fibras do tecido, favorecendo o processo de limpeza e o tempo de vida útil do tecido.

Silva Neto (1996), estudando a remoção da torta em tecidos de poliéster, realizou ensaios de filtrações com velocidades de 7, 11 e 15 cm/s e verificou que a

porcentagem de massa desprendida da torta decresce e a queda de pressão residual aumenta com o aumento da velocidade de filtração.

2.7.4 – Porosidade do meio filtrante

A porosidade do meio filtrante é um parâmetro muito importante, pois determina a resistência do meio filtrante ao escoamento do gás devido à relação de espaços vazios (poros) existentes no meio filtrante.

A porosidade de um meio filtrante pode ser fornecida pelo fabricante do tecido ou também pode ser obtida através de equações encontradas na literatura. A equação mais utilizada para encontrar o valor da porosidade de um meio filtrante é a clássica equação de Ergun (1952) (equação 2.3). Esta equação foi desenvolvida para estimar a queda de pressão em um leito poroso devido ao escoamento de um fluido utilizando partículas na faixa de tamanho de 10^2 a 10^4 μm , porosidade do leito entre 0,1 a 0,75 e número de Reynolds maior que a unidade.

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\mu V_F}{d_p^2} + 1,75 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_g V_F^2}{d_p} \quad (2.3)$$

em que ΔP é a queda de pressão através de um leito poroso, ρ_g é a densidade do gás, μ é a viscosidade do gás, V_F é a velocidade superficial do gás, d_p é o diâmetro da partícula, ε é a porosidade e L é a espessura do meio filtrante.

2.7.5 – Porosidade da torta

Coury (1983) desenvolveu um método para estimar a porosidade da torta de filtração, chamado de método indireto, onde a equação 2.3 foi adaptada para obter o valor da porosidade da torta. Considerou-se a espessura L da equação 2.3 como a espessura da torta de filtração, que pode ser obtida pela seguinte equação:

$$M = Q \cdot t = L \cdot A \cdot \rho_p \cdot (1 - \varepsilon) \quad (2.4)$$

em que M é a massa da torta, Q é a vazão mássica de pó, A é a área superficial da torta, ρ_p é a densidade das partículas e t o tempo de filtração.

Rearranjando a equação 2.4 e substituindo L na equação 2.3, tem-se:

$$\frac{\Delta P}{t} = 150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^2 \cdot A \cdot \rho_p} \cdot \frac{\mu \cdot Q \cdot V_f}{d_p^2} + 1,75 \cdot \frac{Q \cdot \rho_g \cdot V_f^2}{\varepsilon^3 \cdot A \cdot \rho_p \cdot d_p} \quad (2.5)$$

2.7.6 – Força de adesão

A adesão pode ser definida como a atração entre dois corpos sólidos produzida pela existência de forças atrativas intermoleculares de ação a curta distância.

Assim, para que o processo de limpeza realizado após a filtração de gases seja eficiente é necessária a aplicação de uma força maior que aquela que une a torta ao tecido.

Cross e Centronio (1978), Zimon (1969) e Visser (1978) discutiram alguns fatores que influenciam na adesão entre partículas-superfícies e partículas-partículas. Alguns desses fatores são reações químicas, capilaridade, forças eletrostáticas e forças de Van der Waals, que são forças de ligação secundária entre átomos e moléculas.

As forças de Van der Waals são muito mais fracas do que as ligações primárias, como por exemplo, as covalentes, iônicas e metálicas.

Hamaker (1937) propôs uma expressão, representada pela Equação 2.6, para exprimir as forças de Van der Waals entre duas partículas de diâmetro d_1 e d_2 .

$$F_{vw} = \frac{H(d_1 \cdot d_2)}{12a^2(d_1+d_2)} \quad (2.6)$$

em que a é a distância de separação efetiva entre duas partículas e H a constante de Hamacker, que depende das características do material e possui valores que variam entre 10^{-20} e 10^{-19} Joules.

Quando as duas partículas forem iguais, ou seja, tiverem o mesmo diâmetro, a equação 2.6 se reduz à equação 2.7.

$$F_{vw} = \frac{Hd_p}{24a^2} \quad (2.7)$$

Considerando que uma das partículas apresenta o diâmetro muito maior que a outra, ou seja, $d_2 \gg d_1$, então, pode-se utilizar a equação 2.8.

$$F_{vw} = \frac{Hd_1}{12a^2} \quad (2.8)$$

em que d_1 é o diâmetro da partícula menor.

2.8- Teoria para resistência de um aglomerado de partículas

Segundo Rumpf (1962), se um aglomerado de partículas esféricas com diâmetro d_p é submetido a uma tensão normal σ , assume-se que essa tensão está relacionada com a soma das forças (F) interparticulares individuais que agem nos pontos de contato das partículas, como mostra a equação 2.9:

$$\sigma = nF \quad (2.9)$$

De acordo com Rumpf (1962), a resistência limite de um aglomerado é alcançada quando as forças de separação impostas pela tensão normal são iguais às forças de adesão, portanto, a ruptura de um aglomerado ocorre com a ruptura simultânea das n ligações interparticulares na superfície da ruptura. Substituindo-se a equação 2.7 na equação 2.9, a tensão de ruptura segundo Rumpf é dada pela seguinte equação:

$$\sigma_r = \frac{nHd_p}{24a^2} \quad (2.10)$$

em que o parâmetro n é o número médio de contatos partícula-partícula por unidade de área proposto por Rumpf e é dado pela equação 2.11.

$$n = \frac{1,1(1 - \varepsilon)}{\varepsilon d_p^2} \quad (2.11)$$

em que ε é a porosidade da torta.

Substituindo a equação 2.11 na equação 2.10, tem-se:

$$\sigma_r = \frac{0,046 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot H}{\varepsilon d_p a^2} \quad (2.12)$$

A equação 2.12 é a expressão final da tensão de ruptura de um aglomerado de partículas segundo a teoria de Rumpf (1962).

2.9 - Determinação da força de remoção da torta

Existem na literatura dois métodos de remoção de tortas de filtração, que em condições controladas permitem a estimativa da força de remoção da torta. Um deles, proposto por Morris *et al.* (1987) baseia-se em um pulso mecânico único como forma de remoção da torta. O outro método, proposto por Seville *et al.* (1989) utiliza a técnica de fluxo de ar reverso para a remoção da torta. Em ambos os métodos considera-se que a ruptura da torta se dá na interface torta-tecido.

Neste trabalho, como foi utilizado apenas o fluxo de ar reverso como técnica de remoção da torta, a estimativa da força de remoção da torta será baseado no método proposto por Seville *et al.* (1989).

A partir da análise do trabalho de Sievert e Loeffler (1987), Seville *et al.*, (1989) determinaram um método para estimar a força de remoção da torta. Foi considerado que o escoamento do gás no sentido reverso ao da filtração tem comportamento idêntico ao processo inverso até que as condições críticas para a remoção da torta sejam atingidas. Além disso, assume-se que a ruptura da torta acontece na interface torta-tecido (Lucas, 2000), assim a equação 2.2 resulta na equação 2.13:

$$\Delta P_{Pc} = K_1 \cdot V_c + \Delta P_{Cc} \quad (2.13)$$

em que ΔP_{Pc} é a queda de pressão na limpeza, K_1 é a resistência específica do meio filtrante, V_c é a velocidade superficial do gás na limpeza e ΔP_{Cc} é a queda de pressão na torta nas condições críticas de remoção na limpeza.

Assim, analisando a equação 2.13 observa-se que a queda de pressão na limpeza varia linearmente com a velocidade de limpeza. O coeficiente angular da reta representa a resistência específica do meio filtrante e o coeficiente linear representa a queda de pressão em função da torta.

A força de adesão por unidade de área é definida como a tensão de remoção entre a torta e o tecido. Para estimar o valor dessa força foi utilizado o método proposto por Seville *et al.* (1989) que utiliza uma grandeza chamada de fração de massa retida na torta (γ).

A fração mássica de pó retida na torta pode ser representada pela equação 3.3:

$$\gamma = \frac{W_{Ri}}{W_{Ei}} \quad (2.14)$$

em que W_{Ri} é a massa que fica retida no tecido por unidade de área após uma determinada velocidade de limpeza e W_{Ei} é a massa total de pó depositada por unidade de área.

Dessa forma, é possível obter um valor de fração mássica retida para cada velocidade de limpeza que também é representada por uma determinada queda de pressão correspondente.

Assim, a aplicação do método consiste no cálculo dessa fração, utilizando-se os dados experimentais, como o peso do filtro antes de iniciar o processo de limpeza e o peso do filtro após terminar cada uma das etapas de limpeza.

Primeiramente, os dados de velocidade de filtração, velocidade de limpeza, queda de pressão na limpeza e fração mássica de torta retida para cada tecido devem ser dispostos em tabelas.

Em etapa posterior, as curvas que representam as velocidades de limpeza (V_c) em função das frações mássicas de torta retida (γ) para cada tecido analisado devem ser construídas nas respectivas velocidades de filtração.

Semelhantemente, devem ser construídas as curvas de queda de pressão parciais na limpeza (ΔP_{pc}) em função das frações de massa retida, para cada tecido analisado, nas respectivas velocidades de filtração.

Posteriormente, a curva que representa os valores de queda de pressão parciais na limpeza (ΔP_{pc}) em função da velocidade de limpeza (V_c) devem ser construídas para cada tecido analisado, nas respectivas velocidades de filtração. Dessa forma, é possível realizar um tratamento estatístico denominado regressão linear, para se obter as curvas representativas da variação da queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza.

Através do método proposto por Seville *et al.* (1989), é possível determinar o coeficiente linear dessas retas que correspondem à tensão de remoção da torta, ou seja, força de adesão por unidade de área, que é o valor de queda de pressão obtido pelo prolongamento da reta até o eixo das ordenadas. A Figura 2.10 é uma demonstração do método proposto por Seville *et al.* (1989).

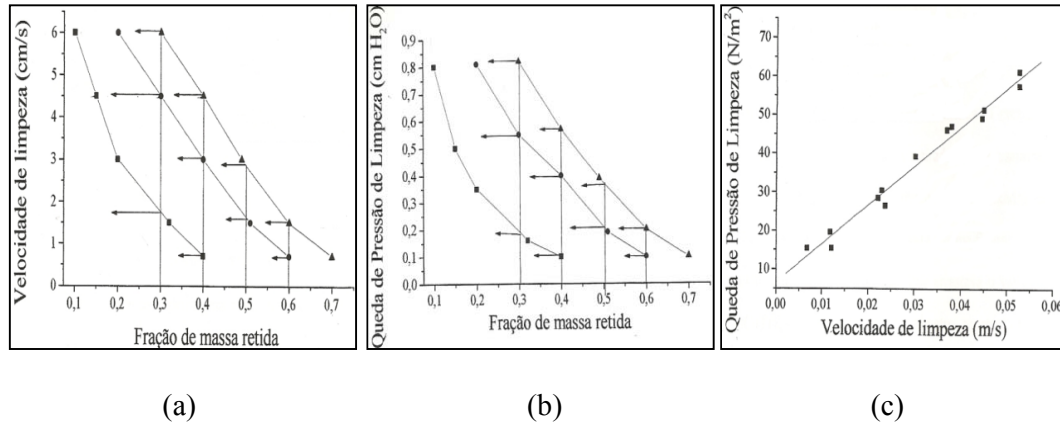


Figura 2.10: Demonstração do método proposto por Seville *et al.*, (1989) a) Velocidade de limpeza por fração de massa retida b) Queda de pressão na limpeza por fração de massa retida e c) Queda de pressão na limpeza por velocidade de limpeza

A força de adesão é então obtida pela multiplicação dos valores de tensão de remoção e área de filtração, conforme na equação 2.15:

$$F_c = \sigma_r \cdot A \quad (2.15)$$

2.10- Outros estudos experimentais

A seguir serão apresentados os principais trabalhos que abrangem o estudo da remoção de partículas em meios filtrantes de tecido.

Aguiar e Coury (1994) estimaram a força de adesão por unidade de área utilizando o método proposto por Seville *et al.* (1989) para frações de rocha fosfática com diâmetros médios de 32, 15 e 3,2 μm e obtiveram valores para força de adesão por unidade de área de 30, 64 e 68 N/m^2 . Também foi verificado que a tensão de ruptura dos aglomerados foi bem representada pela teoria de Rumpf, considerando que as forças de Van der Waals eram as únicas relevantes encontrando resultados semelhantes aos estimados por Seville *et al.* (1989).

Aguiar (1995) determinou a força de adesão torta-tecido por unidade de área utilizando-se como material pulverulento o calcário dolomítico e o fluxo de ar reverso como técnica de limpeza. O autor propôs uma correlação para a força de adesão por unidade de área como função da massa de pó depositada na torta e do diâmetro médio do pó, com base na correlação de Rumpf para pós secos tendo apenas as interações de Van der Waals como forças de adesão.

Morris e Allen (1996), trabalhando com meios flexíveis de poliéster chamuscado determinaram a força de adesão usando a técnica do pulso único para o pó de sílica com diâmetro médio de partícula de 6,2 μm encontrando o valor de 25,4 N/m^2 . Verificou que esta força aumenta com a massa de pó depositada por unidade de área.

Silva *et al.* (1999) verificaram a influência da velocidade superficial de filtração na tensão de remoção de tortas de rocha fosfática . Concluíram que quanto maior a velocidade, maior a tensão de remoção e menor a distância de separação efetiva entre as partículas da torta.

Lucas (2000) estudou a influência das variáveis operacionais na remoção das tortas para os materiais particulados de talco, de rocha fosfática e de polvilho doce para o tecido de poliéster. Os ensaios de filtração foram realizados nas velocidades de 6, 9 e 11 cm/s . O autor concluiu que o grau de limpeza final das tortas variou significativamente para os materiais estudados, sendo que para o talco e polvilho foi de aproximadamente 90%, enquanto que para a rocha fosfática foi menor que 60%. Observou-se também que para as partículas de rocha fosfática, a porosidade, a resistência específica e a tensão de remoção da torta foram maiores que os encontrados para o polvilho doce, mostrando uma menor coesividade da torta deste último material.

Rodrigues (2004) estudou a remoção de tortas de filtração de gases do tecido de polipropileno que apresentou maior grau de limpeza das tortas, em média 77 %, do que o

tecido de algodão, em que as frações removidas foram em média de 39%. O tecido de polipropileno apresentou maior porosidade do que o tecido de algodão. A tensão de remoção das tortas dos tecidos aumentou com o aumento da velocidade de filtração para ambos os tecidos, sendo que o tecido de polipropileno apresentou tensões de remoção maiores que as apresentadas pelo tecido algodão, notadamente para as tortas obtidas com velocidades de filtração de 6,0 e 7,5 cm/s.

Tieni (2005) realizou um estudo do fenômeno de limpeza de blocos utilizando rocha fosfática como material particulado e poliéster como meio filtrante. Comprovou que a regeneração do tecido está relacionada com a velocidade de limpeza, sendo que a massa de torta removida aumentou conforme aumentou a velocidade de limpeza. Verificou que ocorreu um aumento no tamanho dos blocos removidos com um aumento da perda de carga máxima, ou seja, com a espessura da torta. A melhor velocidade de limpeza para a remoção da torta foi de 13 cm/s.

Tognetti (2007) realizou um estudo da influência das variáveis operacionais na formação e remoção de tortas para tecidos de polipropileno, de poliéster e de acrílico, utilizando a rocha fosfática como material particulado. O autor concluiu que o aumento do tamanho dos pedaços removidos foi observado com o aumento da massa coletada, comprovando que tortas mais espessas são mais facilmente removidas. Verificou também que o número de blocos removidos para o tecido de acrílico é significativamente menor que o número de pedaços removidos para o polipropileno, apesar da pequena diferença entre a área total removida. Isto mostrou que o tecido de acrílico apresentou maiores pedaços removidos de torta em relação ao polipropileno.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Nos itens a seguir serão relacionados os equipamentos, materiais e métodos que foram utilizados nos procedimentos experimentais

3.1- Equipamentos

A seguir, serão descritos os principais equipamentos utilizados para a execução deste trabalho experimental. Esta descrição envolve a caracterização dos materiais utilizados, bem como o funcionamento do equipamento de filtração.

3.1 .1- Equipamento utilizado para filtração e limpeza

Para a realização dos ensaios de filtração e limpeza foi utilizado o equipamento ilustrado na Figura 3.1. Este equipamento pertence ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos. Ele consiste de uma caixa de filtração, um alimentador de pó, desumidificadores, manômetros e válvulas para o ajuste da função sugar ou soprar (filtração e limpeza).

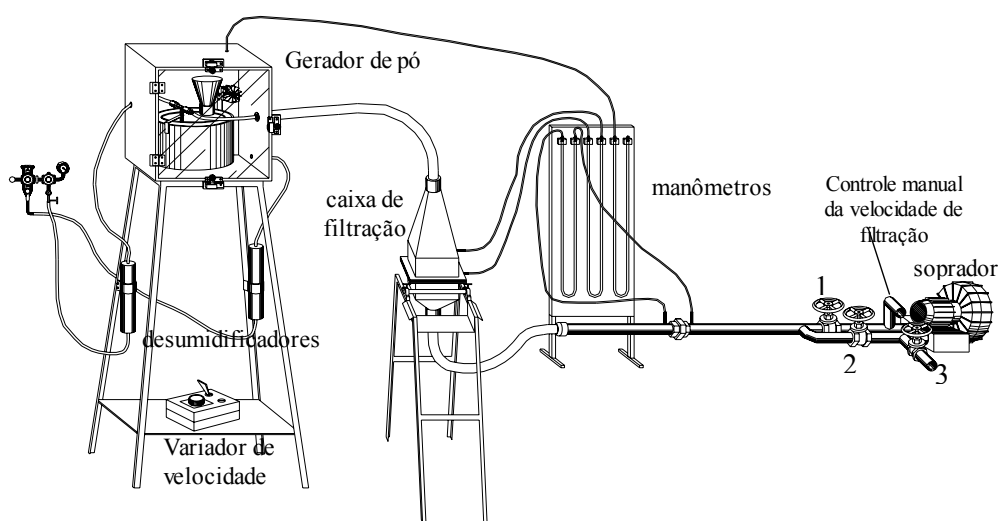


Figura 3.1: Unidade experimental

3.1.1.1 - Caixa de filtração

A caixa de filtração foi construída de aço, e é constituída por duas tampas que são ligadas por uma dobradiça. O filtro era conectado entre as tampas. Para que o filtro ficasse fixo na caixa de filtração, as tampas eram presas por garras. Eram conectadas na caixa de filtração, duas mangueiras de 2 polegadas de diâmetro, sendo uma delas ligada ao soprador e outra ligada ao gerador de pó. Para evitar o vazamento de gás e aerossóis, as tampas eram revestidas de borracha. O meio filtrante foi cortado na forma quadrangular, possuindo uma área de filtração de 225 cm².

Para a realização do processo de filtração, a caixa foi posicionada verticalmente, e durante a limpeza do filtro, ela foi posicionada horizontalmente. Isso foi possível porque a caixa possui um sistema de articulação.

Dois pontos de medida de pressão encontram-se situados antes e após a passagem do fluxo pelo filtro, os quais fornecem as medidas de pressão que são lidos em um manômetro em forma de “U”.

A Figura 3.2 mostra a caixa de filtração utilizada nos experimentos.



Figura 3.2: Caixa de filtração fechada e aberta

3.1.1.2 - Sistema de alimentação de pó

O alimentador de pó é constituído de um prato giratório de aço inoxidável, com diâmetro de 24 cm, que gira em torno do seu próprio eixo. O pó foi depositado em um sulco semicircular do prato pelo cone de alimentação. A rotação do prato giratório foi realizada pela ação de um motor. Acoplado ao prato giratório, um aspirador do tipo Venturi succionava o pó encaminhando-o até a caixa de filtração.

O alimentador de pó era envolvido por uma caixa de aço com o objetivo de manter a umidade interna relativamente baixa.

O cone utilizado para a alimentação do pó foi vibrado com o auxílio de um motor a ele acoplado no momento em que vai preenchendo o sulco semicircular.

Para aspirar esse pó retido dentro do sulco e encaminhá-lo até a caixa de filtração, um sugador do tipo Venturi foi instalado próximo ao prato giratório. A vazão de material pulverulento utilizada foi de aproximadamente 0,025 g/s. Calibrou-se o prato giratório, de forma que uma volta completa correspondesse a um tempo de dois minutos. Sendo assim, a vazão foi determinada dividindo a massa total, em gramas, succionada pelo Venturi, pelo tempo em segundos.

Este sistema de alimentação está representado na figura 3.3:

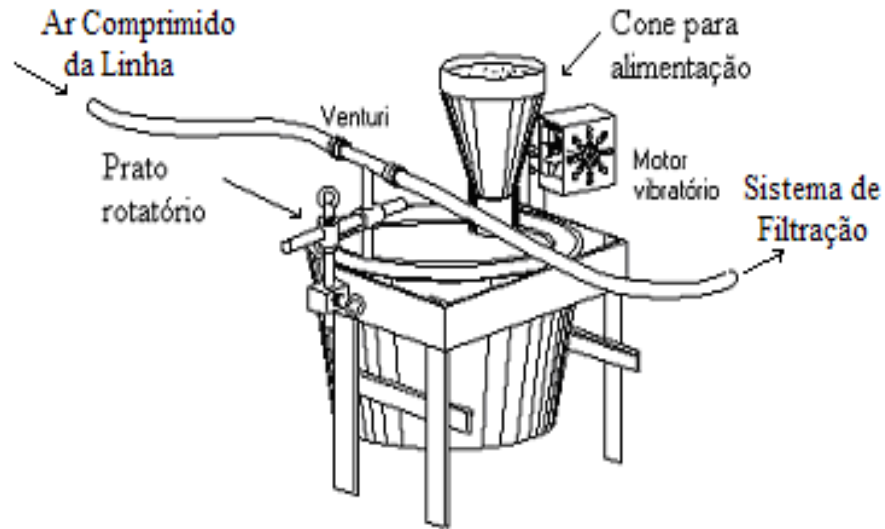


Figura 3.3: Esquema do alimentador de pó

3.1.1.3 – Soprador

Um soprador IBRAM de 4 HP de potência direcionava o gás (ar) para a caixa de filtração e o controle da vazão foi realizado com a ajuda de quatro válvulas tipo gaveta.

Para o controle da velocidade de filtração, as válvulas 1 e 3, visualizadas na Figura 3.1, ficavam totalmente abertas, enquanto a válvula 2 permanecia fechada. Já para ajustar a velocidade de limpeza, com fluxo contrário ao da filtração, primeiramente foram fechadas as válvulas 1 e 2 e aberta a válvula 3. Posteriormente, ao ligar o soprador, a válvula 2 foi aberta lentamente até ficar completamente aberta. Este procedimento foi realizado afim de que não ocorresse um pulso no momento da limpeza.

3.1.2 – Controle da umidade

O controle da umidade é bastante relevante, pois evita que o material pulverulento fique agregado, dificultando a limpeza. Por esta razão, duas colunas desumificadoras contendo sílica gel (Figura 3.4) são conectadas à caixa de alimentação que promove, dessa maneira, a passagem de ar seco.

Sendo assim, antes do início da filtração, aguardava-se algum tempo passando este ar seco por dentro da caixa de alimentação, até que não houvesse mais variação de umidade dentro da caixa de forma a obter valores de umidade sempre em torno de 20%. Este valor de umidade foi selecionado para este trabalho com base em trabalhos anteriores que também utilizaram valores de umidade próximo a 20%. Estes valores foram medidos através de um medidor de umidade e temperatura.



Figura 3.4: Colunas desumificadoras contendo sílica gel

3.1.3 - Manômetros medidores de pressão e vazão

Manômetros do tipo “U” foram utilizados para medir a queda de pressão total no filtro, ou seja, a diferença entre a pressão na entrada e na saída, tendo como fluido manométrico a água.

A medição da vazão do gás foi realizada por uma placa de orifício conectada a um manômetro diferencial do tipo “U”, localizada entre a saída da caixa de filtração e o soprador, que também possuía a água como fluido manométrico.

3.2 – Outros equipamentos

Foram utilizadas simultaneamente duas balanças, uma para aferir a massa do filtro antes e depois da limpeza, e outra para verificar a massa de pó desprendida durante a limpeza do filtro. A balança usada para verificar o peso do filtro foi uma AM5500, da marca Automarte, com apenas dois algarismos significativos. Já a balança utilizada para medir a massa de pó é mais precisa, semi-analítica e possuía especificação de quatro algarismos significativos, sendo da marca Gehak e modelo BK400. Utilizou-se também um analisador de granulometria Mastersizer Microplus da marca Malvern para obtenção da granulometria dos materiais particulados e um picnômetro a Hélio da marca Micrometrics para obtenção da densidade dos materiais. Um microscópio eletrônico de varredura (FEG-MEV Philips; Mev XL 30-TMP) que pertence ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos foi utilizado para obtenção das imagens dos materiais.

3.3- Calibração da placa de orifício

Para calibrar a placa de orifício foi utilizada outra placa de orifício com equação conhecida (placa padrão). Esta placa é um dispositivo extremamente simples, constituído de uma placa plana, com um orifício central. Ela é inserida perpendicularmente à direção do escoamento e o fluido passa através deste orifício.

As medidas de queda de pressão foram obtidas utilizando-se dois manômetros, um foi conectado na placa padrão de 5 mm de diâmetro e o outro na placa de orifício de 8 mm de diâmetro, a ser calibrada. Com a equação fornecida pelo medidor padrão, pôde-se ajustar para a placa de orifício de 8 mm uma curva de vazão para filtração e outra para limpeza, ambas em função da queda de pressão. As equações 3.1 e 3.2 apresentam as equações ajustadas:

$$Q_F = 0,12. (\sqrt{\Delta H})^{0,89} \quad (\text{Filtração}) \quad (3.1)$$

$$Q_L = 0,11. (\sqrt{\Delta H})^{0,97} \quad (\text{Limpeza}) \quad (3.2)$$

em que Q é a vazão volumétrica em m³/min e ΔH é a diferença de altura em cmH₂O.

Observa-se que ocorreu uma pequena diferença entre as equações 3.1 e 3.2. Como a calibração foi realizada nos dois sentidos da placa de orifício (uma na filtração e outra para limpeza), as imperfeições no orifício podem ter provocado esta pequena diferença nas curvas. A Tabela 3.1 apresenta as vazões de gás correspondentes às velocidades de filtração e limpeza utilizadas.

Tabela 3.1: Velocidades de filtração e limpeza e vazões de gás utilizadas

Filtração		Limpeza	
Velocidade (cm/s)	Vazão (m ³ /min)	Velocidade (cm/s)	Vazão (m ³ /min)
5	0,0675	0,5	0,0067
7,5	0,1013	1	0,0135
10	0,1350	2	0,0270
-	-	3	0,0405
-	-	6	0,0810
-	-	9	0,1215
-	-	12	0,1620
-	-	15	0,2025

3.4 – Caracterização dos materiais particulados

Os materiais particulados utilizados nos ensaios de filtração foram o concentrado fosfático de Patos de Minas (MG), fornecido pela FÓSFERTIL S.A e também o

polvilho doce, da marca YOKI. A Figura 3.5 (a) e (b) apresentam as fotografias dos materiais particulados, obtidas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

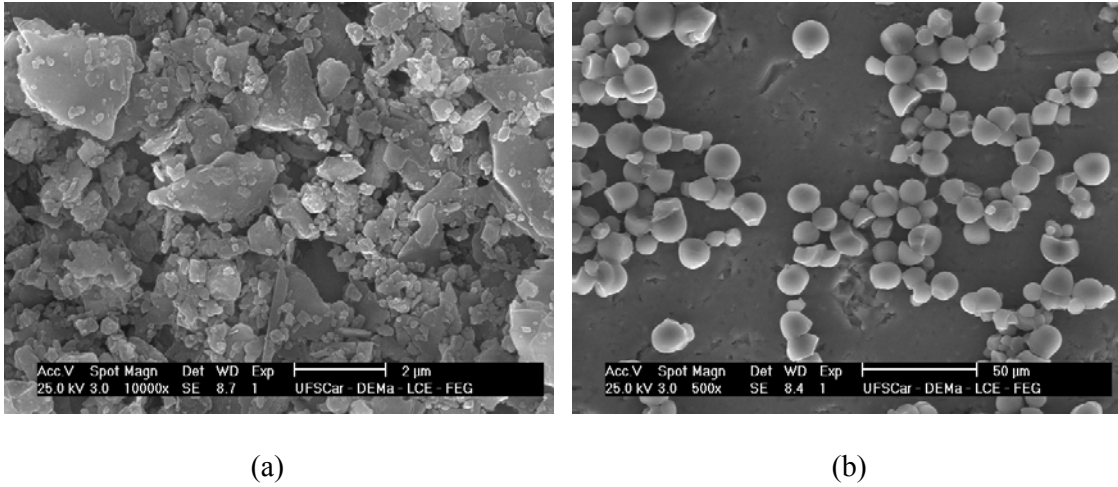


Figura 3.5: Fotografia dos materiais particulados a) Rocha Fosfática e b) Polvilho doce, gerados no MEV.

A figura 3.6 representa a distribuição granulométrica dos materiais particulados.

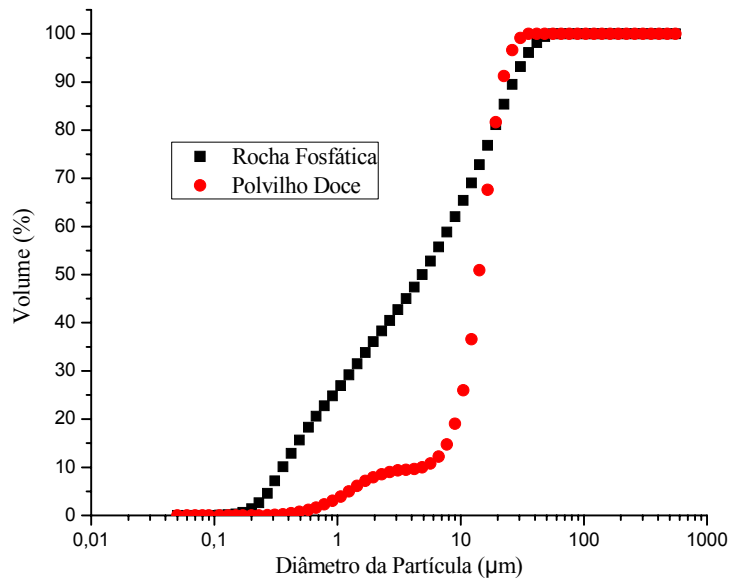


Figura 3.6: Distribuição granulométrica dos materiais particulados

O diâmetro mediano volumétrico das partículas foi determinado pelo equipamento Malvern Mastersizer Microplus, sendo realizada a média de três medidas. A densidade das partículas foi determinada por picnometria a Hélio, através do equipamento AccyPyc 1330 da Micromeritics, sendo o valor da massa específica obtido também pela média de três análises. Quanto à esfericidade, estes materiais foram caracterizados por Rodrigues (2006). Os resultados da caracterização dos materiais particulados encontram-se na tabela 3.2:

Tabela 3.2: Caracterização dos materiais particulados

	Rocha fosfática	Polvilho doce
Densidade das partículas (ρ_p) (10^{-3}Kg/cm^3)	2,90	1,52
Diâmetro das partículas (d_p) (μm)	4,87	14,10
Esfericidade*	0,73*	0,94*

* Resultados obtidos por Rodrigues (2006)

3.5 – Caracterização dos meios filtrantes

Três diferentes tipos de meios filtrantes foram utilizados a fim de analisar o comportamento de cada um no processo de filtração e de limpeza. Os tecidos utilizados são aqueles empregados na fabricação de filtros de manga industriais. Os filtros utilizados foram: polipropileno, acrílico e poliéster, fornecidos pela empresa GINO CACCIARI. Para facilitar o desprendimento da torta, tais tecidos receberam tratamentos de calandragem e chamuscagem em uma de suas faces, sendo estes tratamentos realizados pelo fabricante.

Os meios filtrantes foram cortados na forma quadrangular de 15 cm de lado, resultando em uma área filtrante igual a 225 cm².

As características e especificações são fornecidas pelo fabricante e estão descritas na Tabela 3.3:

Tabela 3.3: Características dos meios filtrantes

Meio Filtrante	Polipropileno (PP)	Acrílico (AC)	Poliéster (PT)
Especificação	3008PP	7002AC	1016P
Contextura	Feltro agulhado	Feltro agulhado	Feltro agulhado
Gramatura (g/cm ²)	600	550	550
Tratamento superficial	Calandrado/	Calandrado/	Calandrado/
	Chamuscado	Chamuscado	Chamuscado
Espessura nominal (mm)	2,5-2,8	2,5	1,9
Diâmetro nominal de fibras (µm)	21,0	21,0	21,0

Fonte: GINO CACCIARI

A Figura 3.7 representa uma microfotografia das amostras desses tecidos, que permite a observação das suas superfícies.

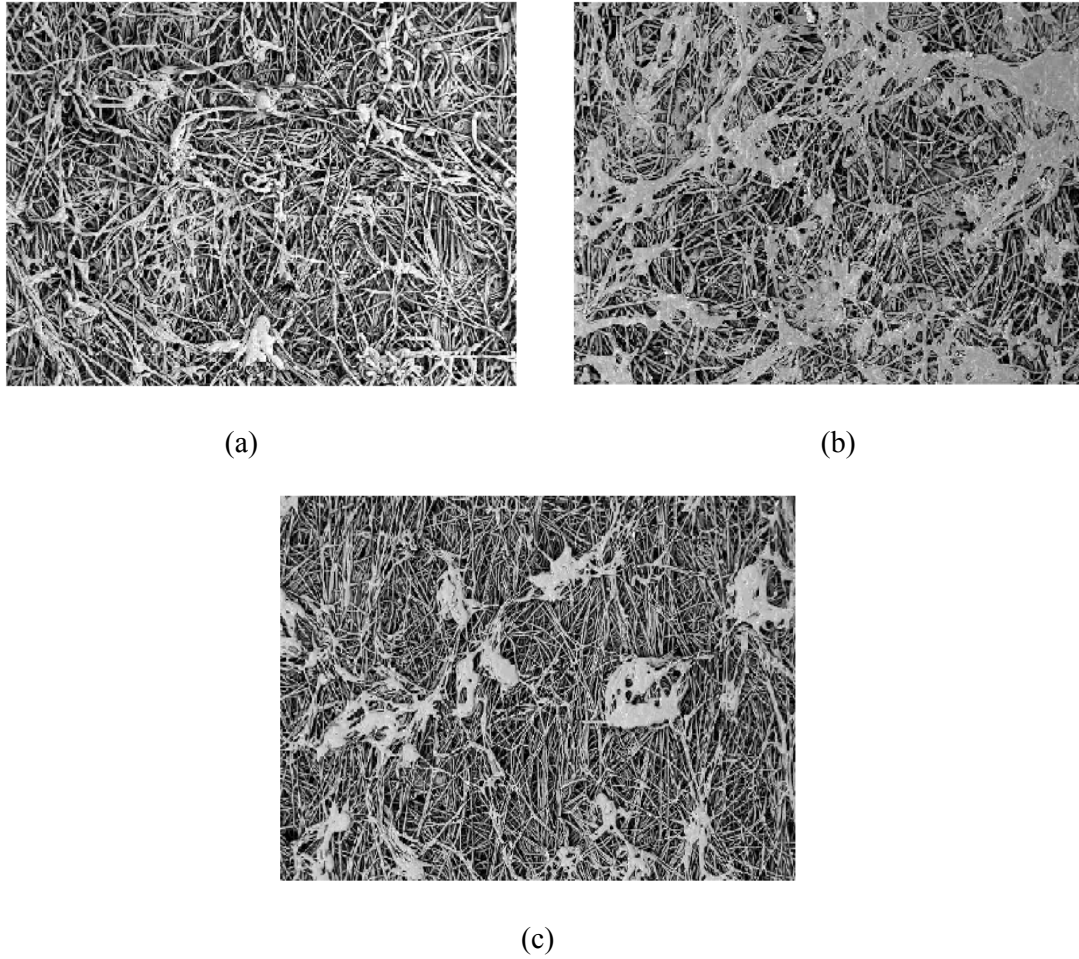


Figura 3.7: Microscopia eletrônica de varredura dos tecidos testados. Aumento de 50X: a) Acrílico; b) Polipropileno; c) Poliéster tratado. Fonte: Rodrigues (2006)

Através da microfotografia, pode-se verificar que o polipropileno apresenta uma estrutura superficial mais fechada que outros meios filtrantes como o acrílico e o poliéster tratado (Tognetti, 2007).

3.6 - Procedimento experimental

A seguir, será detalhado o procedimento experimental utilizado para a realização deste estudo.

A Tabela 3.4 apresenta todas as condições operacionais utilizadas nos experimentos.

Tabela 3.4: Condições operacionais utilizadas nos experimentos

Tecido	Pó	Velocidade de Filtração (cm/s)	Tempo de Filtração (min)	Velocidade de Limpeza (cm/s)
Acrílico	Rocha Fosfática	5; 7,5; 10	10; 12,5; 15; 17,5; 20	0,5; 1; 2; 3; 6; 9; 12; 15
	Polvilho Doce			
Poliéster	Rocha Fosfática			
	Polvilho Doce			
Polipropileno	Rocha Fosfática			
	Polvilho Doce			

Foram realizados 90 experimentos de filtração, sendo que para cada um deles, a limpeza do meio filtrante foi realizada para oito diferentes velocidades de limpeza.

3.6.1 - Ensaio de filtração

Os ensaios de filtração foram realizados através de um gerador de pó que dispersava no ar o material particulado sugado. Dessa forma, ocorria a passagem do ar “sujo” pelo meio filtrante, onde as partículas ficavam retidas, formando assim, a torta de filtração.

Inicialmente, os meios filtrantes foram cortados na forma quadrangular, possuindo uma área total de 225 cm². Em seguida, foi fixado à moldura e posteriormente pesado em balança.

O gerador de pó era calibrado sempre no início de cada filtração a fim de garantir uma quantidade semelhante de material particulado em todos os experimentos. A calibração era feita de forma a percorrer uma volta completa em um tempo de dois minutos. A vazão de pó utilizada foi de aproximadamente 0,025 g/s.

Em seguida, o pó era depositado no reservatório cônico, contido dentro da caixa de alimentação, e homogeneizado com o auxílio de um espátula. Esse pó era mantido em uma estufa por pelo menos 24 horas, de forma a garantir o mínimo possível de umidade.

Para garantir uma baixa umidade do ar no interior da caixa de alimentação foi utilizado o ar comprimido. Esse ar passava por duas colunas desumificadoras contendo sílica gel e em seguida entrava na caixa de alimentação praticamente seco. Posteriormente, aguardava-se um tempo até que a umidade relativa dentro da caixa atingisse aproximadamente 20%. Os valores de umidade foram obtidos através de um medidor de umidade e de temperatura e foram monitorados durante todo o procedimento experimental.

Em seguida, o filtro preso à moldura era colocado na caixa de filtração sendo fixado por garras metálicas.

Assim que o valor de umidade relativa alcançasse um valor próximo à 20%, o soprador era ligado e a velocidade de filtração era ajustada, medindo-se o valor de queda de pressão antes do início da filtração.

Em seguida, o cronômetro e o prato rotativo eram acionados simultaneamente e os valores de tempo e de perda de carga eram anotados.

O gás contendo o pó era sugado pelo soprador e passava pela caixa de filtração posicionada verticalmente, perpendicular ao escoamento do gás.

A velocidade superficial de filtração foi controlada manualmente para que permanecesse constante durante toda a filtração. Tal controle foi possível, devido à existência de uma placa de orifício, que foi previamente calibrada, conectada a um manômetro do tipo “U” que media a vazão.

O processo de filtração terminava quando se atingia o tempo pré-estabelecido e então, o soprador, o prato rotativo e o ar comprimido eram desligados.

Após o término do processo de filtração, a caixa de filtração era aberta cuidadosamente e o filtro com a torta formada eram pesados.

Para os três tipos de tecidos e dois tipos de materiais particulados foram avaliadas, nos ensaios de filtração, as velocidades superficiais de filtração apresentadas na Tabela 3.4 e foram obtidas 5 espessuras de torta, correspondendo a quantidades de pó por unidade de área de aproximadamente 0,039; 0,055; 0,064; 0,071 e 0,088 g/cm². É importante lembrar que os valores citados anteriormente são valores aproximados, ou seja, foi realizada uma média aritmética, visto que o número de experimentos foi bem grande, logo, é praticamente impossível se obter valores iguais de quantidades de pó depositadas por unidade de área. Em seguida, iniciava-se o processo de limpeza descrito no item seguinte:

3.6.2 - Limpeza do meio filtrante

Para determinação da tensão de remoção, força de adesão por unidade de área, para cada pó nos três diferentes tipos de tecido, foi necessário remover a torta do tecido. Para isso, foi utilizada a técnica de limpeza por fluxo de ar reverso, ou seja, ar limpo era soprado no sentido inverso ao da filtração através das inversões das válvulas, sendo realizada manualmente.

Após o ensaio de filtração, o filtro e a torta de filtração eram pesados e a moldura com o filtro eram novamente fixados à caixa de filtração. A caixa de filtração era então posicionada horizontalmente para se iniciar o processo de limpeza.

A seguir, uma folha de papel sulfite era previamente pesada e colocada abaixo da caixa de filtração, a fim de coletar as partículas que se desprendiam do tecido, como mostrado na Figura 3.8:



Figura 3.8: Filtro no momento da remoção da torta

O soprador era ligado e a válvula, responsável pelo controle do fluxo de ar, era aberta lentamente, evitando o pulso de ar, até atingir a velocidade de limpeza mínima desejada, quando era anotado o respectivo valor da queda de pressão que se mantinha constante durante todo o processo para cada valor de velocidade de limpeza.

Assim que a velocidade de limpeza era ajustada, o cronômetro era acionado e então o processo de limpeza era controlado por um cronômetro, de modo a ter uma duração de dois minutos.

Após este procedimento, o filtro era desconectado da caixa de filtração e era novamente pesado, obtendo-se assim a massa de pó desprendida. A seguir, o filtro era novamente fixado à caixa de filtração, ajustando-se uma nova velocidade de limpeza. O filtro

e o pó desprendidos eram novamente pesados e este procedimento se repetiu para todas as velocidades de limpeza avaliadas. Esse procedimento foi realizado por oito vezes, sendo que as velocidades de limpeza avaliadas estão apresentadas na Tabela 3.4.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item serão apresentados os resultados experimentais referentes à filtração e à limpeza dos meios filtrantes, destacando os resultados de tensão de remoção das tortas formadas nos tecidos de polipropileno, acrílico e poliéster através das filtrações de gases, utilizando como materiais particulados a rocha fosfática e o polvilho doce. Também será avaliada a variação das condições operacionais, tais como, velocidade superficial de filtração, tipo de material particulado e tipo de tecido utilizado.

4.1- Filtração

4.1.1-Rocha fosfática

A Figura 4.1 mostra as curvas de filtração para a rocha fosfática utilizando velocidade superficial de filtração de 5 cm/s no tecido de poliéster. As cinco curvas se referem às cinco diferentes espessuras de torta obtidas utilizando as mesmas condições operacionais.

Serão discutidos os resultados referente apenas ao tecido de poliéster na velocidade de filtração de 5 cm/s, sendo que as curvas obtidas para os tecidos de polipropileno e acrílico nas demais velocidades de filtração apresentaram iguais comportamentos, estando as figuras referentes às curvas no Anexo G.

A massa depositada foi obtida através da massa total depositada no filtro durante o tempo total de filtração para as tortas de maior espessura obtidas. Sendo assim, foi feita uma proporção desta massa depositada para tempos de filtração inferiores, sendo que nos tempos iniciais da filtração, pouca massa era depositada e à medida que a filtração ocorria, esta massa aumentava com o tempo.

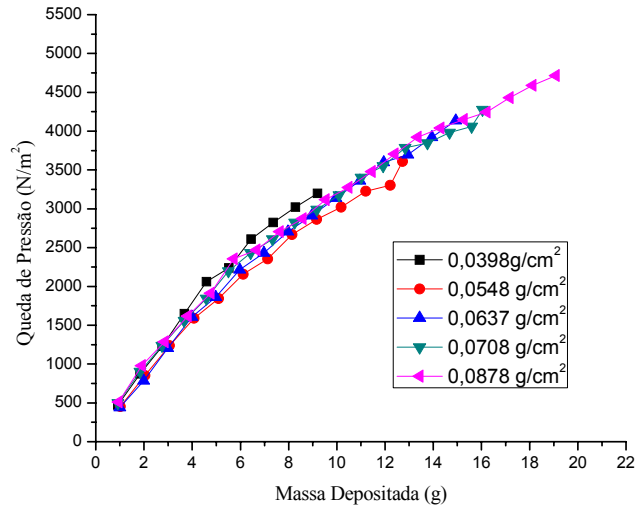


Figura 4.1: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F = 5 \text{ cm/s}$ no tecido de poliéster

Observa-se na Figura 4.1 que os ensaios experimentais apresentaram boa reprodutibilidade quando variou-se a espessura da torta, ou seja, as curvas se sobrepuseram. O único diferencial foi que a queda de pressão final alcançada aumentou com o aumento da espessura da torta.

A maioria das curvas encontradas na literatura apresentam um comportamento não linear no início da filtração, que corresponde à filtração interna, em que as partículas se depositam nas fibras do meio filtrante e à medida que aumenta o tempo de filtração ou a massa depositada no filtro, após a formação da torta, este comportamento vai se aproximando da linearidade. Porém, não foi o que aconteceu nas curvas de filtração obtidas neste trabalho para a rocha fosfática. Pode-se observar na Figura 4.1 que, inicialmente, as curvas apresentaram um comportamento bastante linear e posteriormente elas diminuíram sua inclinação. A filtração interna foi praticamente inexistente, pois as curvas apresentaram comportamento apenas de filtração superficial, caracterizada pela parte linear das curvas. Para todas as curvas, após a formação da torta, ocorreu uma diminuição na taxa de aumento de

queda de pressão em função da massa coletada no filtro, ou seja, o aumento na massa depositada no filtro provocou uma redução na taxa de aumento da queda de pressão.

Comportamento semelhante para as curvas de filtração foi observado por Rodrigues (2006) para os feltros de poliéster tratado, poliéster sem tratamento, acrílico e polipropileno. Este autor discute que o comportamento das curvas não é ainda um fenômeno completamente compreendido, sendo muitas vezes atribuído a uma reestruturação do tecido ou da torta, ou ainda, ao rompimento de algumas fibras do tecido quando submetidas a altos valores de queda de pressão. Sendo assim, haveria maior abertura para a passagem do ar.

Segundo Dennis e Klemm (1982), este fenômeno pode estar relacionado com a quebra da estrutura da torta de filtração, sendo assim ocorre uma redução no aumento de queda de pressão, diminuindo a inclinação da curva. Principalmente em tortas mais espessas, a quebra da estrutura da torta é facilitada devido à grande fragilidade desta camada de pó.

Resultados semelhantes para as curvas de filtração também foi obtido por Lucas (2000) para as curvas de filtração do Silicato de Magnésio (Talco) trabalhando com velocidades de filtração de 6; 9 e 11 cm/s. As curvas diminuíram a inclinação após a torta atingir espessura próxima de 2 kg/m².

As Figuras 4.2, 4.3, 4.4 representam as curvas de filtração para a rocha fosfática nos tecidos de polipropileno, poliéster e acrílico variando a velocidade de filtração. As curvas se referem apenas às tortas de maior espessura obtidas, sendo que foi observado comportamento semelhante para as tortas menos espessas.

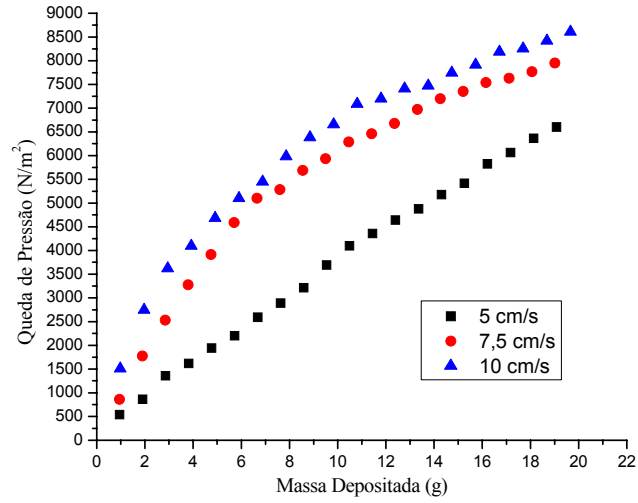


Figura 4.2: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática no tecido de polipropileno

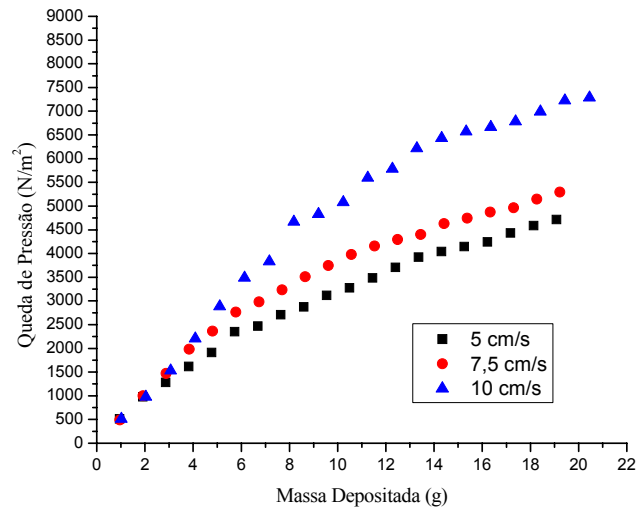


Figura 4.3: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática no tecido de poliéster

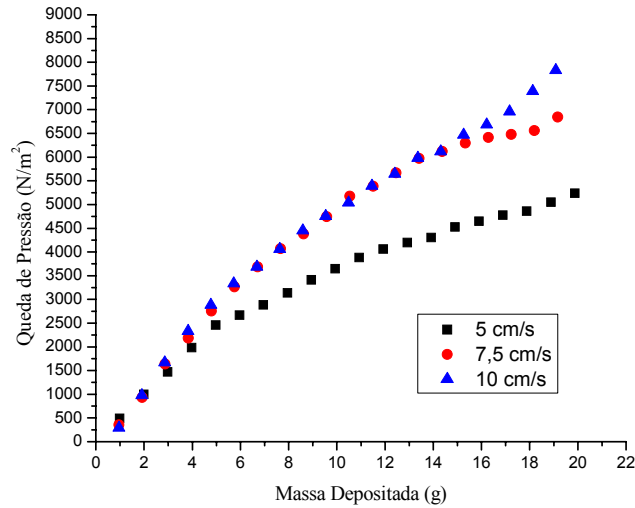


Figura 4.4: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática no tecido de acrílico

Observa-se nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 que ao variar a velocidade superficial de filtração, as curvas de queda de pressão em função da massa depositada apresentaram comportamentos semelhantes, mesmo em diferentes tecidos. À medida que se aumenta a velocidade superficial de filtração, as tortas vão ficando mais compactadas, a distância entre as partículas tende a diminuir, aumentando assim a resistência encontrada pelo gás ao atravessar o filtro e consequentemente, alcançam maiores valores de queda de pressão para mesmas massas de torta.

Ao variar o meio filtrante, observa-se que o tecido de polipropileno apresentou maior valor de queda de pressão final que os demais tecidos, sendo este tecido mais fechado que os demais, apresentando uma menor permeabilidade ao ar. Rodrigues (2006) também observou em seus estudos que o polipropileno apresentou maiores valores de queda de pressão que os outros feltros tratados e discutiu que os altos valores de queda de pressão residual não são apenas consequência do acúmulo de material no interior do filtro, mas sim da associação deste acúmulo com as características do filtro. Sendo assim, as características do filtro exercem influência no desempenho global do filtro durante toda sua vida útil.

4.1.2- Polvilho doce

As Figuras 4.5 e 4.6 ilustram o comportamento das curvas de filtração para o polvilho doce utilizando velocidade superficial de filtração de 10 cm/s nos tecidos de polipropileno e acrílico. As cinco curvas se referem às cinco diferentes espessuras de torta obtidas.

Serão discutidos os resultados referente apenas ao tecido de polipropileno e acrílico na velocidade de filtração de 10 cm/s, sendo que as curvas obtidas para os tecido de poliéster apresentaram comportamento igual ao tecido de polipropileno diferindo do tecido de acrílico. Ao variar a velocidade superficial de filtração, comportamentos semelhantes também foram observados, estando as figuras referentes às curvas no Anexo H.

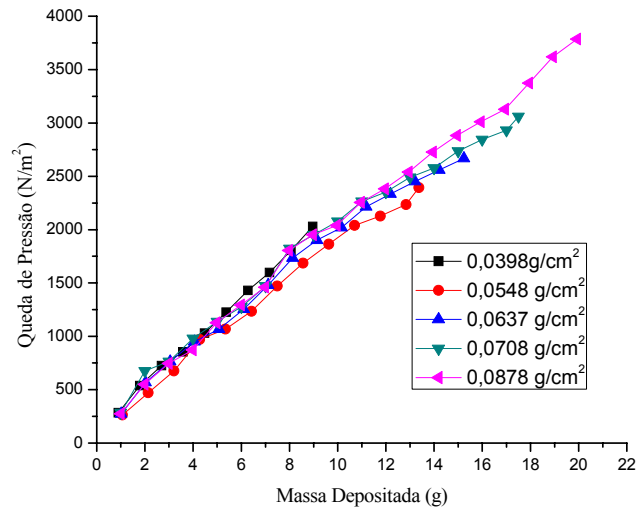


Figura 4.5: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de polipropileno

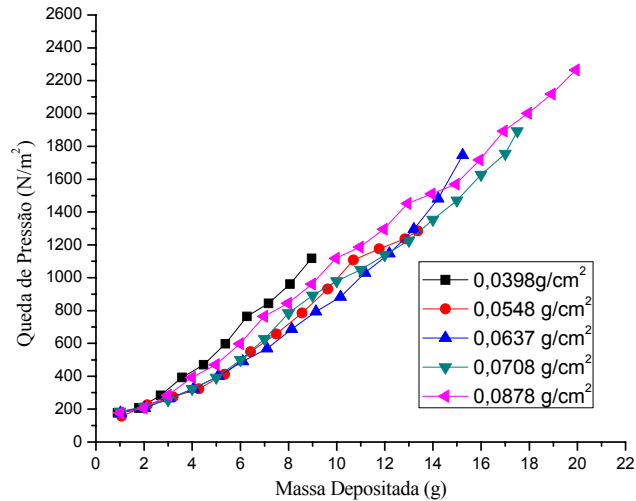


Figura 4.6: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico

Através das Figuras 4.5 e 4.6, foi possível verificar a boa reprodutibilidade dos ensaios experimentais obtidos para o polvilho doce, as curvas se apresentam muito próximas uma das outras. A queda de pressão final alcançada aumentou com o aumento da espessura da torta.

A Figura 4.5 representa o comportamento observado para o tecido de polipropileno, sendo que o tecido de poliéster se comportou da mesma forma. Observa-se que as curvas obtidas para o polvilho doce apresentaram comportamento diferente do observado para a rocha fosfática nestes tecidos. Comportamento linear foi observado durante todo o procedimento de filtração. A filtração interna foi praticamente inexistente, pois as curvas apresentaram comportamento apenas de filtração superficial, caracterizada pela parte linear das curvas.

Rodrigues (2004) também obteve este mesmo comportamento linear para as curvas de filtração de rocha fosfática no tecido de algodão. As curvas apresentaram mesma inclinação durante todo o procedimento.

A Figura 4.6 representa o comportamento observado para o tecido de acrílico. Observa-se que as curvas obtidas também apresentaram comportamento diferente do

observado para a rocha fosfática e o tecido de acrílico apresentou comportamento diferente dos demais tecidos nas filtrações para o polvilho doce. Foi observado um período, mesmo que muito curto, com comportamento típico de filtração interna, caracterizada pelos momentos iniciais da filtração, onde a inclinação da curva tende a aumentar bem devagar e posteriormente a curva passa a ter comportamento linear, caracterizando então a filtração superficial. O comportamento linear representa uma deposição na superfície estritamente uniforme em série com o tecido, ou seja, a não penetração de pó no tecido.

Segundo Dennis e Dirgo (1981), estas diferenças nas curvas de filtração ocorre devido às variações das propriedades da superfície do tecido, da torta ou ainda devido à compressão do tecido ou da torta.

As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 representam as curvas de filtração para o polvilho doce nos tecidos de polipropileno, poliéster e acrílico variando a velocidade superficial de filtração. As curvas se referem apenas às tortas de maior espessura obtidas, sendo que foi observado comportamento semelhante para as tortas menos espessas.

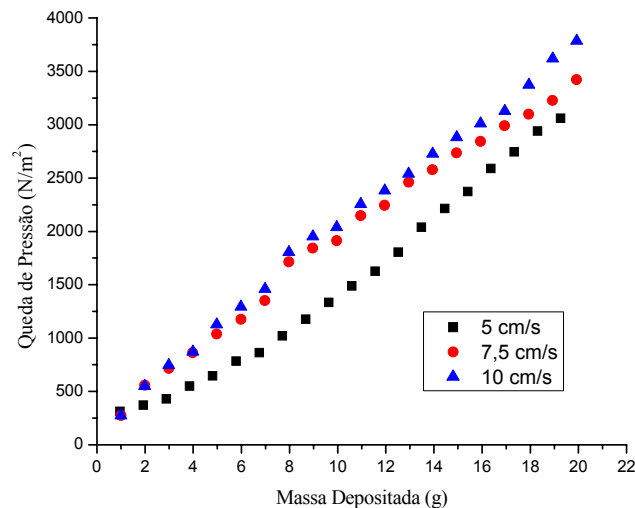


Figura 4.7: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce no tecido de Polipropileno

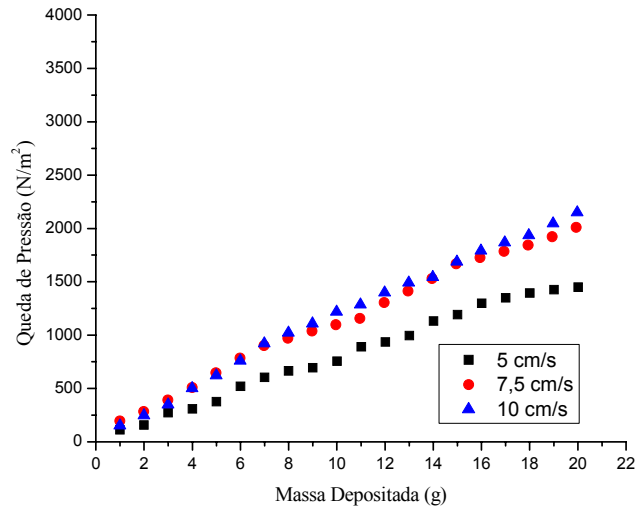


Figura 4.8: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce no tecido de Poliéster

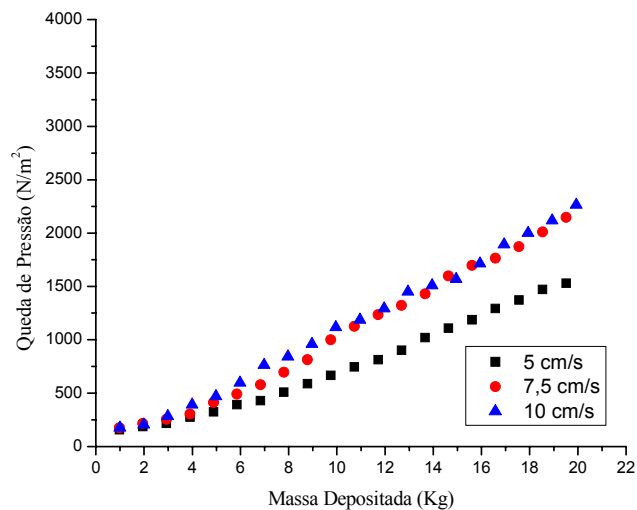


Figura 4.9: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce no tecido de acrílico

Nota-se nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9, a influência da velocidade superficial de filtração na formação da torta. Velocidades maiores formam tortas mais compactas, aumentando assim a resistência encontrada pelo gás ao atravessar o filtro, sendo assim, alcançam maiores valores de queda de pressão para mesmas massas de torta.

Ao variar o meio filtrante, observa-se que o tecido de polipropileno também foi o que apresentou maiores valores de queda de pressão final que os demais tecidos, sendo este tecido mais fechado que os demais, apresentando uma menor permeabilidade ao ar.

As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 representam as curvas de filtração de queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática e polvilho doce para os tecidos de acrílico, poliéster e polipropileno na velocidade de filtração de 10 cm/s.

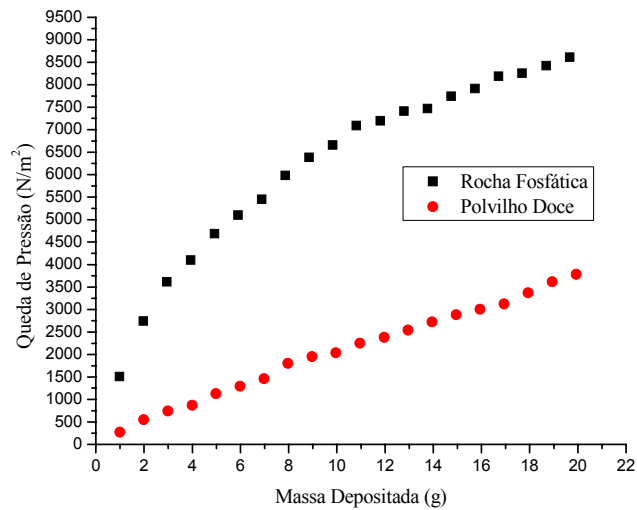


Figura 4.10: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática e polvilho doce utilizando $V_F= 10$ cm/s no tecido de polipropileno

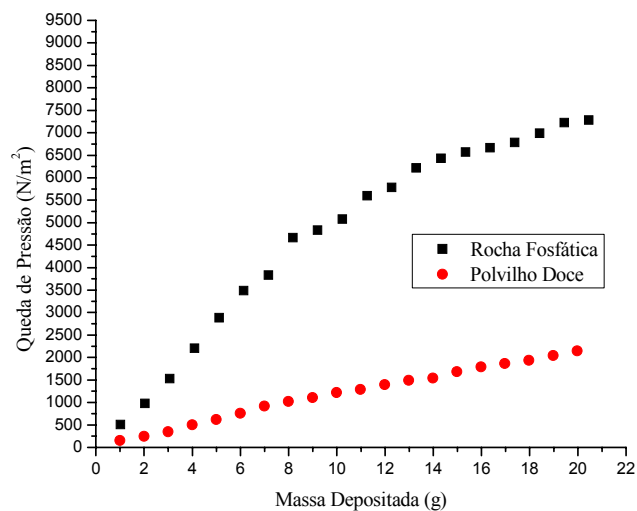


Figura 4.11: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática e polvilho doce utilizando $V_F= 10$ cm/s no tecido de poliéster

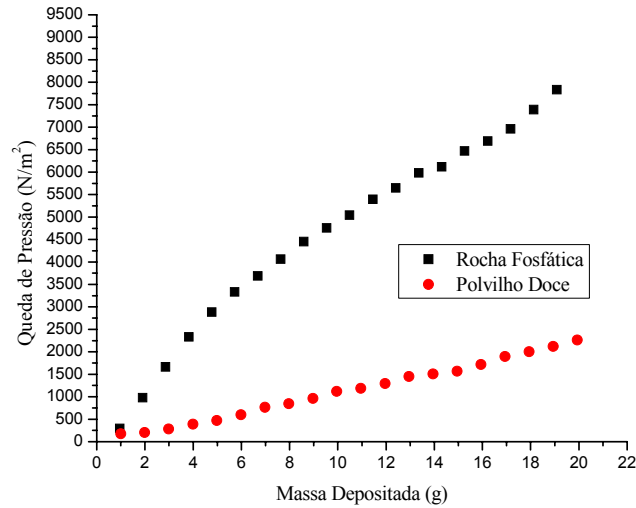


Figura 4.12: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática e polvilho doce utilizando $V_F = 10$ cm/s no tecido de acrílico

É possível observar pelas Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 que o tipo de material particulado muito influencia na formação da torta de filtração e conseqüentemente na queda de pressão final alcançada para uma mesma massa de torta. Para todos os tecidos avaliados, a rocha fosfática apresentou maiores valores de queda de pressão que o polvilho doce. Isto ocorre devido à maior compactação das tortas de rocha fosfática, aumentando assim a resistência à passagem do ar e conseqüentemente, aumentando a queda de pressão do sistema.

4.2- Limpeza do meio filtrante

4.2.1- Tensão de remoção da torta

Para a determinação da força de adesão por unidade de área ou tensão de remoção da torta de filtração foi utilizado o método proposto por Seville *et al.* (1989), descrito mais detalhadamente no item 2.9.

4.2.1.1- Rocha Fosfática

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios de limpeza realizados com a rocha fosfática. Em todos os ensaios foram testadas todas as condições experimentais apresentadas na Tabela 3.4.

As Figuras 4.13 e 4.14 representam, respectivamente, as curvas de velocidade de limpeza em função da fração de massa retida e queda de pressão na limpeza em função da fração de massa retida para a rocha fosfática no tecido de polipropileno. As cinco curvas representam as cinco espessuras de tortas aqui investigadas para a velocidade de filtração de 10 cm/s.

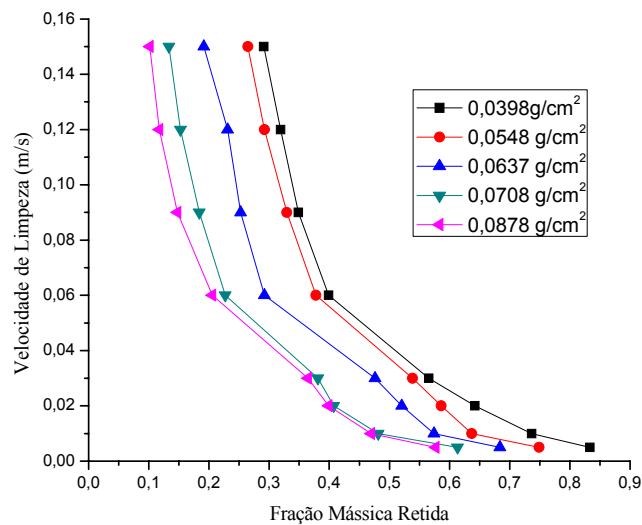


Figura 4.13: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno

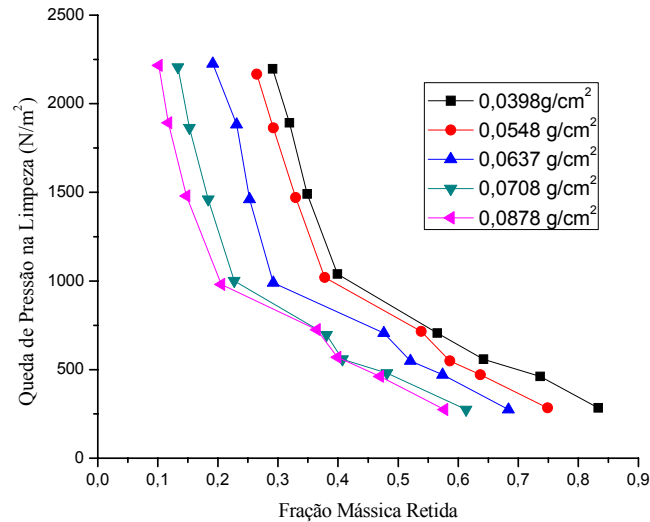


Figura 4.14: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno

Pode-se perceber, pela análise das curvas que a rocha fosfática apresentou uma ampla faixa de torta removida. Para tortas de menor espessura, a fração de torta desprendida foi pequena, enquanto que para tortas mais grossas, a fração de torta desprendida foi bem maior. Comportamento semelhante foram observados em trabalhos de Aguiar e Coury (1996) e Silva *et al.* (1999), também para a rocha fosfática, em que quanto menor a espessura da torta, maior foi a fração de massa retida (γ), trabalhando com uma mesma velocidade de limpeza. Sendo assim, em tortas mais finas o grau de limpeza é menor.

Tortas mais grossas apresentam massa maior, sendo assim, a atuação da força da gravidade é mais predominante, então a limpeza ocorre em blocos maiores. Diante disso, a fração mássica desprendida é maior para tortas mais grossas.

Para os demais tecidos e velocidades de filtração aqui investigados, mesmo comportamento foi observado e as curvas encontram-se no Anexo G.

A Figura 4.15, obtida a partir das Figuras 4.13 e 4.14 representa os pontos experimentais de queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza.

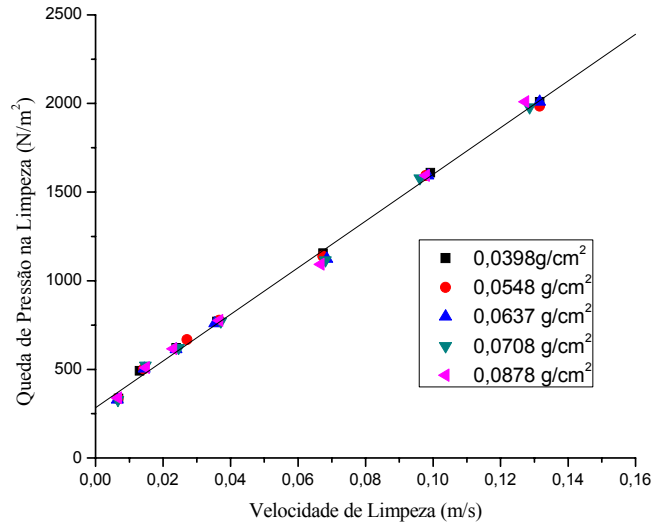


Figura 4.15: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno

Nota-se na Figura 4.15 que quando ocorreu variação da espessura da torta, os pontos experimentais se ajustaram em uma única curva, mostrando que ao variar esta condição, os valores encontrados para tensão de remoção não variaram significativamente, ou seja, a força necessária para desprender a torta do tecido foi praticamente a mesma. Este comportamento foi observado para todos os experimentos realizados com a rocha fosfática. Para os demais tecidos e velocidades de filtração, as curvas encontram-se no Anexo G.

Aguiar (1995) também observou em seu trabalho que seus dados experimentais se ajustaram em uma única curva ao variar a espessura da torta, discordando dos resultados obtidos por Seville *et al.* (1989), onde este autor obteve mesmos valores de tensão de remoção, mas diferentes valores de resistência específica do meio filtrante, ou seja, obteve mesmos valores de coeficiente linear e diferentes valores de coeficiente angular.

Silva *et al.* (1997) também observou que seus dados experimentais se ajustaram em uma única curva variando a espessura da torta e obteve valores de K_1 iguais a $1269,22$ N.s/m³ e força de adesão por unidade de área igual a $97,17$ N/m² para a filtração de rocha fosfática trabalhando com velocidade de filtração de $0,0891$ m/s.

Portanto, os pontos experimentais se ajustaram em uma curva cuja inclinação fornece o valor de resistência específica do tecido (K_1) que foi de 13167,35 N.s/m³ e o coeficiente linear fornece o valor da tensão de remoção, que foi de 283,38 N/m². Os resultados referentes ao tecido de poliéster e acrílico e às velocidades de 5 e 7,5 cm/s encontram-se nas Tabelas 4.1 a 4.3. Nestas tabelas serão apresentados os resultados de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ) e força de adesão (F_c) obtidos para a rocha fosfática para todos os tecidos e velocidades superficiais de filtração aqui investigados.

Tabela 4.1: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para a Rocha fosfática.

Polipropileno				
V_f (cm/s)	R^2	K_1 (N.s/m ³)	σ_r (N/m ²)	F_c (N)
5,0	0,99	3853,55	195,57	4,40
7,5	0,99	8869,76	258,54	5,82
10,0	0,99	13167,35	283,38	6,38

Tabela 4.2: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para a Rocha fosfática.

Poliéster				
V_f (cm/s)	R^2	K_1 (N.s/m ³)	σ_r (N/m ²)	F_c (N)
5,0	0,91	635,74	89,51	2,01
7,5	0,93	942,06	120,46	2,71
10,0	0,93	950,29	143,74	3,23

Tabela 4.3: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para a Rocha fosfática.

Acrílico				
V_f (cm/s)	R^2	K_1 (N.s/m ³)	σ_r (N/m ²)	F_c (N)
5,0	0,94	1173,89	161,58	3,64
7,5	0,96	1291,51	167,65	3,77
10,0	0,94	1039,83	169,16	3,81

4.2.1.2- Polvilho doce

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios de limpeza realizados para o polvilho doce. Os procedimentos experimentais e as condições operacionais foram os mesmos realizados para a rocha fosfática.

As Figuras 4.16 e 4.17 representam, respectivamente, as curvas de velocidade de limpeza por fração de massa retida e queda de pressão na limpeza por fração de massa retida, para o polvilho doce no tecido de acrílico. As cinco curvas representam as quantidades de pó depositadas por unidade de área obtidas experimentalmente utilizando velocidade de filtração de 10 cm/s. Para os outros tecidos e velocidades de filtração, as curvas encontram-se no Anexo H.

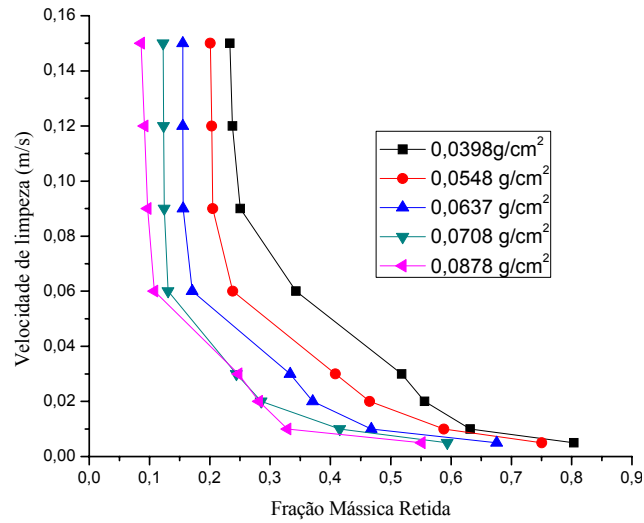


Figura 4.16: Velocidade de limpeza em função da fração de massa retida para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ no tecido de acrílico

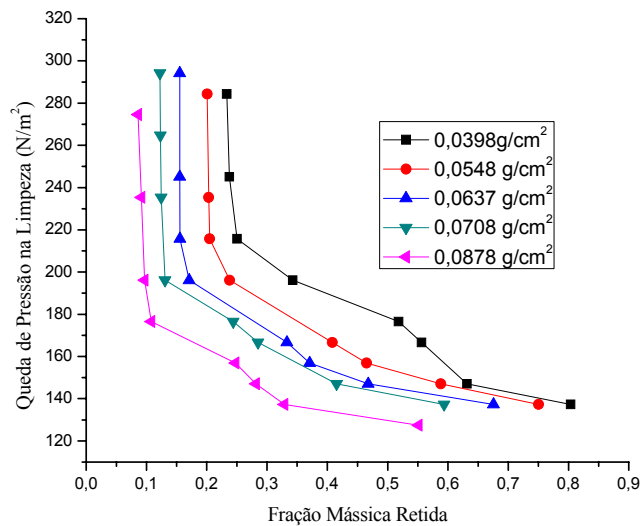


Figura 4.17: Queda de pressão na limpeza em função da fração de massa retida para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ no tecido de acrílico

Da mesma forma como foi observado para a rocha fosfática, à medida que se aumentou a espessura das tortas, a quantidade de torta removida também aumentou para o polvilho doce.

A Figura 4.18 representa as curvas, para modo de comparação, de velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática e polvilho doce,

analisando um mesmo tecido, no caso o acrílico, mesma velocidade superficial de filtração, de 10 cm/s e mesma espessura de torta, de 0,0878 g/cm².

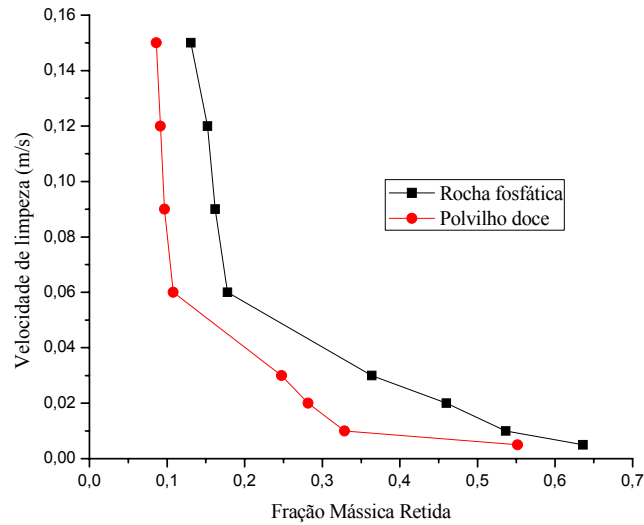


Figura 4.18: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática e polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de acrílico

Analisando a Figura 4.18, observa-se que a fração de torta removida para o polvilho doce foi sempre maior quando comparado à rocha fosfática.

A Figura 4.19 foi obtida a partir das Figuras 4.16 e 4.17:

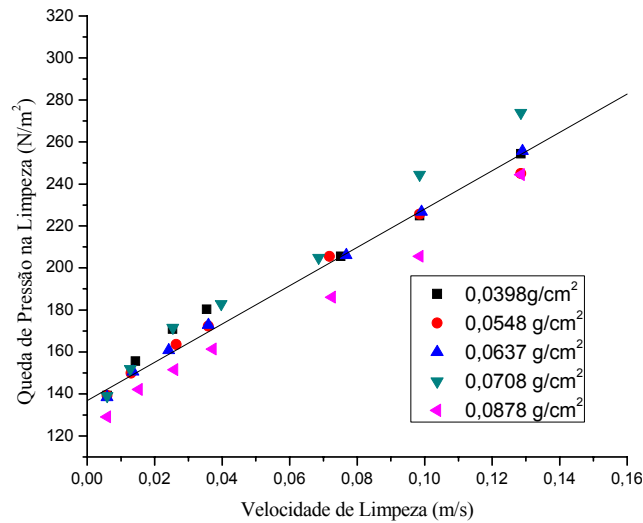


Figura 4.19: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de acrílico

Da mesma forma que foi observado para os resultados da rocha fosfática, os pontos experimentais para o polvilho doce também se ajustaram em uma única curva, indicando que os valores de tensão de remoção não sofreram influência da quantidade de pó depositada por unidade de área. Este comportamento também foi observado para todos os experimentos realizados com o polvilho doce, podendo ser visualizados nas curvas do Anexo H.

O valor do coeficiente angular da curva que representa a resistência específica do tecido (K_1) obtido foi de 912,34 N.s/m³ e o coeficiente linear que fornece o valor da tensão de remoção foi de 136,82 N/m². Os resultados referentes ao tecido de polipropileno e poliéster e às velocidades de 5 e 7,5 cm/s encontram-se nas Tabelas 4.4 a 4.6 . Nestas tabelas estão apresentados os resultados de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão obtidos para o polvilho doce para todas as condições experimentais investigadas neste estudo.

Tabela 4.4: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para o polvilho doce.

Polipropileno				
V_f (cm/s)	R^2	K_1 (N.s/m ³)	σ_r (N/m ²)	F_c (N)
5,0	0,94	2722,76	136,68	3,08
7,5	0,96	5016,09	200,33	4,51
10,0	0,99	7888,89	246,88	5,55

Tabela 4.5: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para o polvilho doce.

Poliéster				
V_f (cm/s)	R^2	K_1 (N.s/m ³)	σ_r (N/m ²)	F_c (N)
5,0	0,93	868,41	27,81	0,63
7,5	0,96	1443,23	65,44	1,47
10,0	0,98	1047,03	80,03	1,80

Tabela 4.6: Valores de coeficiente de correlação (R^2), resistência específica do meio filtrante (K_1), tensão de remoção (σ), força de adesão (F_c) obtidos para o polvilho doce.

Acrílico				
V_f (cm/s)	R^2	K_1 (N.s/m ³)	σ_r (N/m ²)	F_c (N)
5,0	0,97	984,13	120,80	2,72
7,5	0,98	1037,07	135,99	3,06
10,0	0,95	912,34	136,82	3,08

4.3- Tensão de remoção em função do material particulado

As Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 representam o comportamento observado da tensão de remoção para a rocha fosfática e para o polvilho doce variando a velocidade superficial de filtração para o tecido de polipropileno, poliéster e acrílico.

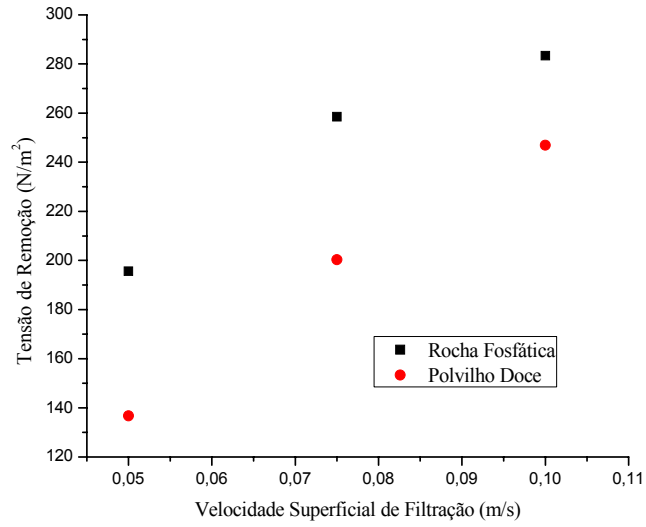


Figura 4.20: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de polipropileno

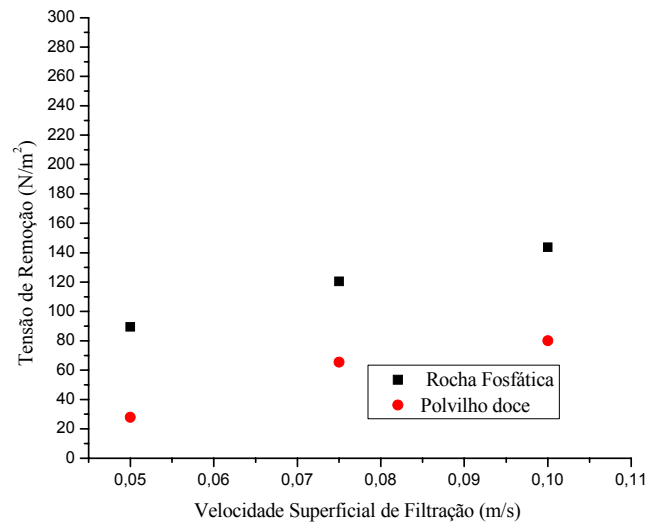


Figura 4.21: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de poliéster

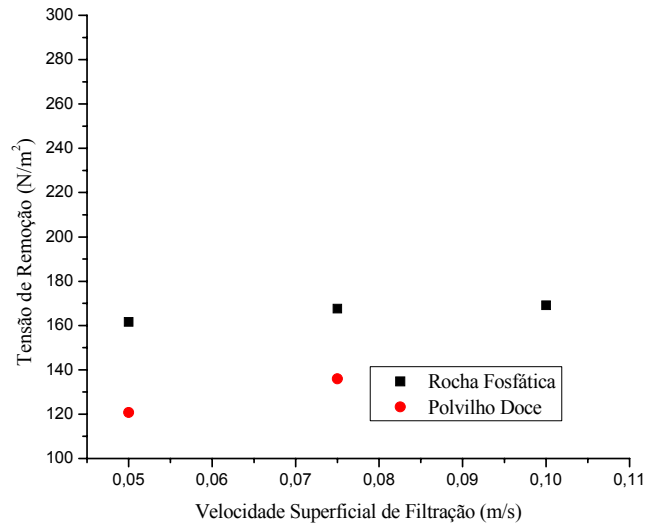


Figura 4.22: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de acrílico

Nota-se nas Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 que a rocha fosfática apresentou maiores valores de tensão de remoção quando comparados aos valores obtidos para o polvilho doce para todos os tecidos aqui avaliados. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Lucas (2000), o qual obteve a mesma tendência para estas partículas. Isto pode estar relacionado com as características do material particulado que influencia na formação da torta de filtração. A rocha fosfática apresentou partículas com diâmetro médio menor, sendo assim, forma tortas mais compactadas, dificultando a limpeza.

4.4- Tensão de remoção em função do meio filtrante

As Figuras 4.23 e 4.24 ilustram o comportamento da tensão de remoção para a rocha fosfática e polvilho doce, respectivamente, nos diferentes tecidos avaliados variando a velocidade superficial de filtração.

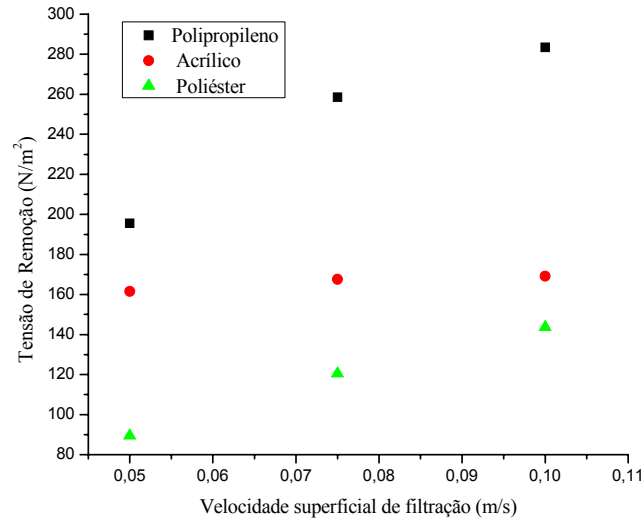


Figura 4.23: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática nos tecidos de polipropileno, acrílico e poliéster.

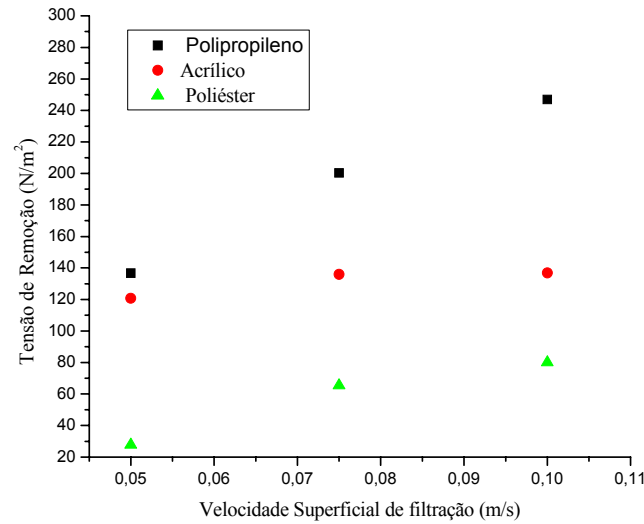


Figura 4.24: Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração para o polvilho doce nos tecidos de polipropileno, acrílico e poliéster.

Pode-se verificar nas Figuras 4.23 e 4.24 que dentre os meios filtrantes utilizados, o polipropileno foi o que obteve maiores valores de tensão de remoção, seguido do acrílico e do poliéster. Algumas características do meio filtrante, tais como permeabilidade e porosidade devem ser levadas em consideração para a discussão dos resultados.

Tanabe (2008) estudou a deposição das partículas de rocha fosfática no interior dos tecidos de polipropileno, acrílico e poliéster. Este autor observou que o tecido de polipropileno foi o que obteve uma deposição mais superficial, ou seja, as partículas não conseguiram se depositar significativamente no interior do meio filtrante. Diante disso, este tecido apresentou maiores frações de torta removidas quando comparados aos outros tecidos. Este autor também observou que o polipropileno, apesar da menor profundidade alcançada pelas partículas foi o que obteve maiores valores de queda de pressão residual e isto está relacionado com a menor abertura entre as fibras do tecido e menor permeabilidade ao ar. Diante disso, pode-se concluir que o tecido de polipropileno é mais fechado dentre os demais, por isso não promove uma filtração interna significativa e sim superficial promovendo uma maior compactação da torta na superfície do tecido, dificultando sua remoção, ocasionando uma maior força de adesão.

O tecido de poliéster foi o que obteve menores valores de tensão de remoção seguido do acrílico e do polipropileno. Verifica-se também que o tecido de acrílico não promoveu um aumento tão significativo nos valores de tensão de remoção quando comparado aos outros dois tecidos. Ocorreu apenas uma pequena inclinação da curva ao variar a velocidade superficial de filtração.

4.5- Tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração

A velocidade de filtração tem uma relação direta com os valores obtidos de tensão de remoção, pois está diretamente relacionada com a compactação das tortas obtidas. Observando as Tabelas 4.1 a 4.6 para a rocha fosfática e polvilho doce, nota-se que à medida que se aumentou a velocidade superficial de filtração, houve também um aumento nos valores de tensão de remoção. Quanto maior a velocidade, mais fortemente compactadas ficam as partículas na torta, aumentando assim a dificuldade de limpeza. Através das Figuras 4.20,

4.21 e 4.22, é possível observar claramente o perfil da tensão de remoção obtido para a rocha fosfática e polvilho doce variando a velocidade superficial de filtração para os tecidos aqui analisados.

Os valores de tensão de remoção apresentaram comportamento semelhante aos obtidos por Silva *et al.* (1999) e Aguiar e Coury (1996), onde o aumento da velocidade superficial de filtração promoveu um aumento na tensão de remoção. Resultados parecidos foram encontrados por Campos (2009), obtendo a mesma tendência de tensão de remoção em função da velocidade.

A partir dos dados utilizados para a construção das curvas das Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 foi possível obter as equações que descrevem o comportamento das curvas de tensão de remoção em função da velocidade superficial de filtração. Estas equações foram obtidas por regressão não-linear dos dados experimentais.

$$\sigma_r = 961,59. V_F^{0,52} \quad (\text{Rocha fosfática – Polipropileno}) \quad (4.1)$$

$$\sigma_r = 198,28. V_F^{0,07} \quad (\text{Rocha fosfática – Acrílico}) \quad (4.2)$$

$$\sigma_r = 687,15. V_F^{0,68} \quad (\text{Rocha fosfática – Poliéster}) \quad (4.3)$$

$$\sigma_r = 1711,68. V_F^{0,84} \quad (\text{Polvilho doce – Polipropileno}) \quad (4.4)$$

$$\sigma_r = 211,29. V_F^{0,18} \quad (\text{Polvilho doce – Acrílico}) \quad (4.5)$$

$$\sigma_r = 1698,29. V_F^{1,31} \quad (\text{Polvilho doce – Poliéster}) \quad (4.6)$$

4.6- Relação entre a Força de Adesão e a Tensão de Ruptura de um aglomerado de Partículas

Apesar de estar se tratando de remoção de tortas de filtração, o mecanismo se reduz fundamentalmente à separação das forças de adesão partícula-partícula. Sendo assim, Coury e Aguiar (1998) decidiram testar a aplicabilidade da equação proposta por Rumpf

(1962) para a remoção de tortas de filtração de gases e verificaram que apesar de se tratar de um sistema bastante distante do ideal, onde as partículas são esféricas e com diâmetro uniforme, esta equação pode ser utilizada no desenvolvimento de técnicas de limpeza de filtros de tecido. Estes autores consideraram que as forças de Van der Waals eram as únicas relevantes, encontrando resultados semelhantes aos resultados experimentais estimados por Seville *et al.* (1989). Desta forma, utilizou-se a teoria de Rumpf (1962) para analisar os resultados experimentais obtidos para a força de adesão por unidade de área dos materiais analisados.

Na equação 2.12, a porosidade da torta é uma variável que precisa ser estimada. Diante das extremas dificuldades de se obter valores experimentais de porosidade, ela é geralmente obtida através de equações da literatura.

Para a estimativa da porosidade foi utilizada a equação 2.5 obtida por Coury (1983), onde este autor fez uma adaptação na clássica equação de Ergun utilizada para o cálculo da porosidade em meios porosos.

Com os dados de porosidade (ϵ), diâmetro médio das partículas (d_p) e da constante de Hamaker (H), a equação 2.12 pôde ser utilizada para estimar o valor da distância de separação efetiva (a), uma vez que se admite que a tensão de ruptura (σ_r) pode ser dada pela força de adesão por unidade de área, calculada pelo método proposto por Seville *et al.* (1989). A distância de separação efetiva entre as partículas é uma grandeza que determina o grau de compressibilidade da torta; se as partículas se encontram muito próximas uma das outras, a torta está mais compactada, sendo assim, a força para removê-la deverá ser maior.

Os resultados de força de adesão (F_c), porosidade média (ϵ) e distância de separação efetiva (a) estão dispostos nas Tabelas 4.7 a 4.9:

Tabela 4.7: Força de adesão (F_c), porosidade média (ϵ) e distância de separação efetiva (a) para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de polipropileno nas velocidades superficiais de filtração de 5,0; 7,5 e 10,0 cm/s.

Polipropileno						
Rocha fosfática				Polvilho doce		
V_f (cm/s)	F_c (N)	ϵ	a (10^{-9} m)	F_c (N)	E	a (10^{-9} m)
5,0	4,40	0,59	1,84	3,08	0,51	1,10
7,5	5,82	0,48	1,78	4,51	0,44	1,04
10,0	6,38	0,50	1,63	5,55	0,47	0,89

Tabela 4.8: Força de adesão (F_c), porosidade média (ϵ) e distância de separação efetiva (a) para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de poliéster nas velocidades superficiais de filtração de 5,0; 7,5 e 10,0 cm/s.

Poliéster						
Rocha fosfática				Polvilho doce		
V_f (cm/s)	F_c	ϵ	a (10^{-9} m)	F_c	E	a (10^{-9} m)
5,0	2,01	0,51	2,86	0,63	0,47	2,63
7,5	2,71	0,54	2,30	1,47	0,50	1,60
10,0	3,23	0,55	2,06	1,80	0,52	1,40

Tabela 4.9: Força de adesão (F_c), porosidade média (ϵ) e distância de separação efetiva (a) para a rocha fosfática e polvilho doce no tecido de acrílico nas velocidades superficiais de filtração de 5,0; 7,5 e 10,0 cm/s.

Acrílico						
Rocha fosfática				Polvilho doce		
V_f (cm/s)	F_c	ϵ	a (10^{-9} m)	F_c	E	a (10^{-9} m)
5,0	3,64	0,50	2,18	2,72	0,51	1,16
7,5	3,77	0,52	2,05	3,06	0,52	1,07
10,0	3,81	0,55	1,91	3,08	0,55	1,01

As Figuras 4.25 e 4.26 representam o comportamento da distância de separação efetiva em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática e polvilho doce para os tecidos avaliados.

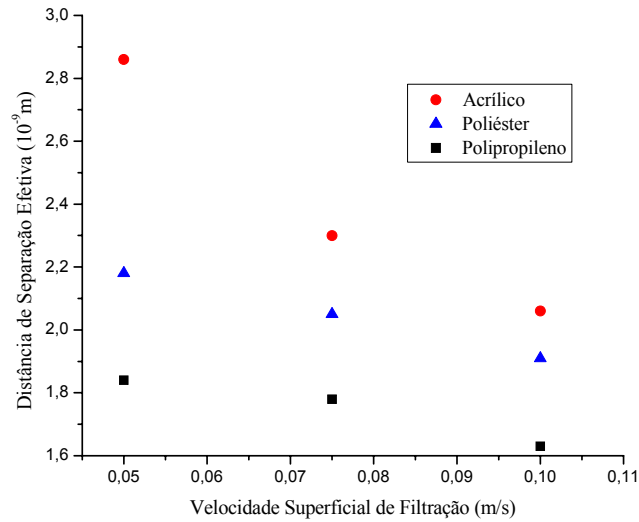


Figura 4.25: Distância de separação efetiva em função da velocidade superficial de filtração para a rocha fosfática

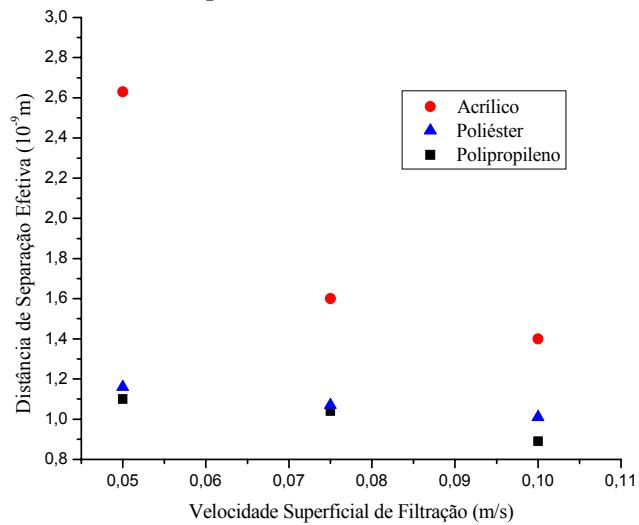


Figura 4.26: Distância de separação efetiva em função da velocidade superficial de filtração para o polvilho doce

Verificou-se pelas tabelas 4.7 a 4.9 e figuras 4.25 e 4.26 que os valores obtidos estão dentro da faixa sugerida por Schubert (1981). Segundo este autor, a menor distância

possível entre duas partículas esféricas lisas, seria de $4 \cdot 10^{-10}$ m, e para partículas reais, propôs que a estaria entre $4 \cdot 10^{-10}$ e $4 \cdot 10^{-8}$ m. Por consequência, o valor de tensão de remoção obtido experimentalmente foi coerente.

Nota-se que os valores de distância de separação efetiva entre as partículas diminuíram com o aumento da velocidade superficial de filtração, concordando com os trabalhos realizados por Silva *et al.* (1999) e Lucas (2000). Velocidades de filtração maiores formam tortas mais compactas, necessitando de uma maior força para removê-la, sendo assim a distância de separação efetiva entre as partículas diminui devido a esta compactação.

5- CONCLUSÕES

Considerando os objetivos ao que este trabalho se propõe e os resultados experimentais obtidos, pode-se concluir o seguinte:

- As curvas de filtração obtidas para a rocha fosfática apresentaram um comportamento linear no início da filtração e posteriormente a taxa de aumento de queda de pressão diminuiu. A filtração interna foi inexistente, havendo apenas filtração superficial.

- As curvas de filtração obtidas para o polvilho doce nos tecidos de polipropileno e poliéster apresentaram um comportamento linear durante todo o experimento de filtração. A filtração interna foi inexistente, havendo apenas filtração superficial. Para o tecido de acrílico foi observado um curto período de filtração interna e posteriormente filtração superficial, caracterizado pela parte linear das curvas.

- A rocha fosfática apresentou maiores valores de fração mássica retida que o polvilho doce analisando tortas de mesma espessura. Para ambos os pós, a fração mássica de torta desprendida aumentou com o aumento da espessura da torta.

- Quando variou-se a quantidade de pó depositada no filtro, não houve variação significativa na força de adesão por unidade de área. Os pontos experimentais de queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza se ajustaram em uma única curva para a rocha fosfática e também para o polvilho doce.

- A rocha fosfática apresentou maiores valores de força de adesão por unidade de área que o polvilho doce.
- Um aumento na velocidade superficial de filtração gerou um aumento na força de adesão por unidade de área.
- O tecido de polipropileno foi o que obteve maiores valores de tensão de remoção dentre os demais tecidos. Concluiu-se também que ele é um tecido mais fechado, sendo assim promove maiores valores de queda de pressão.
- Quanto maior a velocidade superficial de filtração, maior foi a força de adesão por unidade de área, menor foi o valor encontrado para a distância de separação efetiva (a) entre as partículas.

6- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para prosseguimento deste trabalho, pode-se citar as seguintes possibilidades:

- Avaliar a força de adesão por unidade de área para outros materiais particulados, com características diferentes dos avaliados neste trabalho.

- Trabalhar com partículas de diferentes diâmetros para investigar o efeito desta variável na força de adesão por unidade de área.

- Avaliar a força de adesão por unidade de área nos ciclos de filtração e relacioná-la com o número de ciclos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, M. L. Filtração de ar em filtros de tecido. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 1991.

Aguiar, M. L. Filtração de gases em filtros de tecido: Deposição e Remoção da Camada de Pó formada. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, 1995.

Aguiar, M. L.; Coury, J. R. Determinação da força de adesão entre partículas aglomeradas. XXI Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Ouro Preto-MG, 1993. Anais do XXI ENEMP, Belo Horizonte-MG, 1994, v.3, p. 793-802.

Aguiar, M. L.; Coury, J. R. Cake Formation in Fabric Filtration of Gases. *Industrial e Engineering Chemistry Research*, volume 35 (10), p. 3673–3679, 1996.

Balazy, A.; Podgórski, A. Nonsteady-State performance of mechanical fibrous filters. In: Anais 10th World Filtration Congress, 2008.

Barnett, T. Improving the performance of fabric filter dry dust collection equipment. *Filtration and Separation*, p.28-32, 2000.

Callé, S.; Bémer, D.; Thomas, D.; Contal, P.; Leclerc, D. “Changes in the Performances of Filter Media During Clogging and Cleaning Cycles”. *Ann Occup. Hyg*, v45, n.2, p. 115-121, 2001.

Callé, S.; Contal, P.; Thomas, D.; Bémer, D.; Leclerc, D. Evolutions of efficiency and pressure drop of filter media during clogging and cleaning cycles. *Powder Technology* 128, p. 213-217, 2002.

Campos, M. M. Filtração de Gases: Determinação da força de adesão entre partículas, orgânicas e inorgânicas, e filtros de tecido de fibras sintéticas. Trabalho de graduação. Universidade Federal de São Carlos, 2009.

Clark, G. Design considerations of needlefelts used for air filtration applications. *The Journal of the Filtration Society*, v.01, 2001.

Coury, J. R. Eletrostatic effects in granular bed filtration of gases. Tese de Doutorado, Cambridge University.; Inglaterra, 1983.

Coury, J. R. e Aguiar, M.L. Aspectos Estruturais de Aglomerados de Partículas Finas. In: J. T. Freire; A. M. Silveira. (Org.). *Tópicos Especiais em Sistemas Particulados*. 1ª edição - São Carlos: UFSCar, p. 245-281, 1998.

Cross, J. A. e Centronio, A. “Eletrostatic forces and adhesion of particles. Conference on deposition and filtration of particles from gases and liquids”. *Soc. Chem. Ind.*, Loughborough, UK, 1978.

Davis, W. T.; Buonicore, A. J.; *Air Pollution Engineering Manual*. p. 118-131. Air & Waste Management Association. Van Nostrand Reinhold, NewnYork, 1992.

Dennis, R.; Klemm, H. A. Recent concepts describing fabric filter behaviour. Filtration and Separation. p. 22, Jan-Feb, 1982.

Dennis, R.; Dirgo, J. A. Compaction of laboratory and field derived K_2 values for dust collected on fabric filters . Filtration and Separation. V. 18, p. 394, 1981.

Dittler, A.; Ferer, M. V.; Mathur, P.; Djuranovic, P.; Kasper, G.; Smith, D. H. Patchy cleaning of rigid gas filters – transient regeneration phenomena comparison of modeling to experiment. Powder Technology, v. 124, p. 55-66, 2002.

Dittler, A.; Kasper, G. Simulation of operational behaviour of patchily regenerated, rigid gas cleaning filter media. Chemical Engineering and processing, v. 38, p. 321-327, 1999.

Donovan, R. P.; Fabric Filtration of Combustion Sources. New York, Marcel Dekker Inc., 1985

Ergun, S. Fluid flow through packed columns. Chemical Engineering Progress, v. 48, f. 2, p. 89-94, 1952.

Hamaker, H. C. “The London-Van der Waals attraction between spherical particles”. Phisica IV, v.10, p. 1058, 1937.

Hardman, E. Filter media selection, science or black art? The Journal of the Filtration Society, v.01, 2001.

Hinds, W. C. Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles. Wiley Interscience, New York, 1999, p. 483.

Ito, L. X. Estudo da porosidade de tortas de filtração de gases. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2002.

Janoske, U. Simulation of particle separation processes. Anais 10th World Filtration Congress, 2008.

Jeon, K.; Jung, Y. A simulation study on the compression of dust cakes. Powder Technology, v. 141, p. 1-11, 2004.

Koch, D.; Seville, J. ; Clift, R. Dust cake detachment from gas filters. Powder Technology, v. 86, n. 1, p. 21-29, 1996.

Leith, D.; Allen, R.W.K. Dust filtration by fabric filters. In: Progress in filtration, R.J. Wakman (ed), Elsevier, NL, v.4, p. 1-57,1986.

Lora, E.E.S. Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte. Editora Interciência, 2º edição. Rio de Janeiro, 2002.

Lucas, R.D. Influência das variáveis operacionais e do tipo de material pulverulento na formação e remoção de tortas de filtração de gases em filtros de tecidos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2000.

- Martins, J.C. Estudo da deposição de material particulado no meio filtrante durante a filtração gás-sólido. Dissertação mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2001.
- Morris, K.; Allen, R.K.K. The influence of dust and gas properties on cake adhesion in fabric filters. *Filtration and Separation*. p339m April, 1996.
- Morris, K.; Allen, R. K. K.; Clift, R. Adhesion of cakes to filter media. *Filtration and Separation*. v. 41, p. 41-45, Jan-Feb 1987.
- Mycock, J.C.; McKenna, J.D.; Theodore, L. *Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology*, 1995.
- Renner Têxtil Ltda. Material técnico sobre filtros de mangas. Home page: <http://www.rennertextil.com.br>, 2001.
- Rodrigues, A. C. M. Estudo da formação e remoção de tortas de filtração de gases em filtros de tecido de polipropileno e de algodão. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2004.
- Rodrigues, K. B. Filtração de gases: estudo da deposição de diferentes tortas de filtração em diferentes meios filtrantes”, Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, 2006.

Rothwell, E. Changing patterns in dust filtration research. *Filtration and Separation*, p.36-41, 1989.

Rumpf, H. "The strength of granules and agglomerates". In: *Agglomeration*, Philadelphia, PA. Proceedings of First International Symposium on Agglomeration. New York, USA and London, UK: W A Knepper, p. 379-418, 1962.

Saleem, M.; Krammer, G. Effect of filtration velocity and dust concentration on cake formation and filter operation in a pilot scale jet pulse bag filter. *Journal Hazardous Materials*, v. 144, p. 677-681, 2007.

Schmidt, E. Experimental investigations into the compression of dust cakes deposited on filter media. *Filtration and Separation*, v.32, n.08, sep. p. 789-793, 1995.

Schubert, H. (1981). "Principles of agglomeration". *Internacional Chemical Engineering*, vol. 21, nº 3, p. 363-371.

Seville, J. P. K. *Gas cleaning in Demanding Applications*. Blackie Academia & Professional School of Chemical Engineering; The University of Birmingham, UK, 1º edição, 1997.

Seville, J. P. K.; Cheung, W.; Clift, R. "A patchy cleaning interpretation of dust cake release form non-woven fabrics". *Filtration and Separation*, v. 26, p. 187-190, 1989.

Sievert, J. e Löffler, F. "Dust cake release from non woven fabrics". Filtration and Separation, p. 424, nov./dec. 1987.

Silva, C. R. N.; Negrini, V. S; Aguiar, M. L.; Coury, J. R. Influence of gas velocity on cake formation and detachment. Powder Technology, v. 101, n. 2, p. 165-172, Feb. 1999.

Silva Neto, O. G. S. Desempenho de um filtro de manga operando na remoção de partículas de ar. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 1996.

Simon, X.; Chazelet, S.; Thomas, D.; Bémer, D.; Régnier, R. Experimental study of pulse-jet cleaning of bag filters supported by rigid rings. Powder Technology , v. 172, p. 67-81, 2007.

Song, C. B.; Park, H. S. Analytic solutions for filtration of polydisperse aerosols in fibrous filter. Powder Technology, v. 170, p. 64-70, August. 2006.

Steffens, J.; Coury, J. R. Collection efficiency of fiber filters operating on the removal of nano-sized aerosol particles: I – Homogeneous fiber. Separation and Purification Technology, v. 58, p. 99-105, 2007.

Tanabe, H. E. Estudo do comportamento da deposição das partículas em diferentes meios filtrantes. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2008.

Theodore, L.; Buonicore, A.J. Air pollution control equipment – particulates, Vol. 01, CRC Press, Flórida, 1998.

Tieni, E. F. Filtração de gases: Estudo do fenômeno da limpeza por blocos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2005.

Tognetti, E. R. Influência das condições operacionais na formação e remoção de tortas de filtração de gases. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 2007.

Visser, J. Colloid and other forces in particle adhesion and particle removal (a review). Conference on deposition and filtration of particles from gases and liquids. Soc. Chem. Ind., Loughborough, 1978.

Voight, T.; Helmke, G.; Ripperger, S.; Ahlert, B.; Müller, K. W. Separation behavior of particles and bioaerosols on particulate respirators and respirator filter media. Anais 10th World Filtration Congress, 2008.

Zimon, A. D. Adhesion of dust and powders. Plenum Press, 1969.

Anexo A

Dados de filtração para a rocha fosfática

Tabela A1: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	274,57	60	284,37	60	333,40	60	362,82	60	490,30
120	607,92	120	637,39	120	764,87	120	941,38	120	1000,21
180	882,54	180	1000,21	180	1137,49	180	1470,90	180	1470,90
240	1274,78	240	1451,28	240	1529,74	240	1961,20	240	1980,81
300	1568,96	300	1745,47	300	1941,59	300	2363,25	300	2461,31
360	1931,78	360	2078,87	360	2274,99	360	2726,07	360	2667,23
420	2196,54	420	2333,83	420	2490,72	420	2941,80	420	2882,96
480	2471,11	480	26,67,23	480	2804,52	480	3275,20	480	3137,92
540	2726,07	540	2941,80	540	3000,64	540	3549,77	540	3412,49
600	3010,44	600	3196,76	600	3098,69	600	3687,06	600	3647,83
-	-	660	3392,88	660	3314,43	660	3942,01	660	3883,18
-	-	720	3549,77	720	3549,77	720	4118,52	720	4059,68
-	-	750	3647,83	780	3647,83	780	4353,86	780	4196,97
-	-	-	-	840	3755,69	840	4549,98	840	4304,83
-	-	-	-	900	3991,04	900	4726,49	900	4530,37
-	-	-	-	-	-	960	4883,39	960	4648,04
-	-	-	-	-	-	1020	5001,06	1020	4775,52
-	-	-	-	-	-	1050	5089,31	1080	4863,77
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	5050,09
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	5236,40

Tabela A2: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	294,18	60	196,12	60	372,63	60	333,40	60	353,02
120	784,48	120	666,81	120	921,76	120	794,29	120	931,57
180	1382,65	180	1274,78	180	1500,32	180	1284,59	180	1637,60
240	1843,53	240	1872,95	240	2059,26	240	1951,39	240	2186,74
300	2118,09	300	2373,05	300	2529,95	300	2225,96	300	2755,49
360	2706,46	360	2882,96	360	3059,47	360	2647,62	360	3265,39
420	3137,92	420	3314,43	420	3471,32	420	3020,25	420	3687,06
480	3412,49	480	3716,47	480	3804,73	480	3353,65	480	4069,49
540	3765,50	540	4020,46	540	4196,97	540	3657,64	540	4383,28
600	4020,46	600	4353,86	600	4559,79	600	3981,24	600	4746,10
-	-	660	4530,372	660	4716,69	660	4226,39	660	5177,57
-	-	720	4765,72	720	5020,67	720	4510,76	720	5383,49
-	-	750	4844,16	780	5285,43	780	4608,82	780	5667,87
-	-	-	-	840	5530,58	840	4853,97	840	5971,85
-	-	-	-	900	5795,35	900	5167,76	900	6118,94
-	-	-	-	-	-	960	5550,19	960	6295,45
-	-	-	-	-	-	1020	5775,73	1020	6413,12
-	-	-	-	-	-	1050	6128,75	1080	6481,77
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	6560,21
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	6844,59

Tabela A3: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	431,46	60	362,82	60	353,02	60	303,99	60	294,18
120	1078,66	120	1137,49	120	1000,21	120	921,76	120	980,60
180	1882,75	180	1804,30	180	1794,49	180	1765,08	180	1667,02
240	2608,39	240	2647,62	240	2539,75	240	2343,63	240	2333,83
300	3118,31	300	3226,17	300	3177,14	300	2882,96	300	2882,96
360	3647,83	360	3765,50	360	3765,50	360	3432,10	360	3334,04
420	4196,96	420	4147,94	420	4344,06	420	3942,01	420	3687,06
480	4530,37	480	4814,75	480	4736,29	480	4422,51	480	4059,68
540	4961,84	540	5344,27	540	5275,63	540	4824,55	540	4451,92
600	5246,21	600	5893,41	600	5795,35	600	5197,18	600	4755,91
-	-	660	6354,29	660	6187,59	660	5579,61	660	5040,28
-	-	720	6609,24	720	6511,18	720	5932,63	720	5393,30
-	-	750	6913,23	780	6824,98	780	6256,23	780	5648,26
-	-	-	-	840	7030,90	840	6295,45	840	5981,66
-	-	-	-	900	7403,53	900	6893,62	900	6118,94
-	-	-	-	-	-	960	7256,44	960	6471,96
-	-	-	-	-	-	1020	7393,72	1020	6687,69
-	-	-	-	-	-	1050	7560,43	1080	6962,26
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	7393,72
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	7834,99

Tabela A4: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F=5\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	470,69	60	451,08	60	441,27	60	500,11	60	509,91
120	872,73	120	853,12	120	784,48	120	902,15	120	980,60
180	1225,75	180	1235,56	180	1206,14	180	1235,56	180	1284,59
240	1647,41	240	1588,57	240	1608,18	240	1559,15	240	1617,99
300	2059,26	300	1843,53	300	1863,14	300	1843,53	300	1912,17
360	2235,77	360	2157,32	360	2216,16	360	2196,54	360	2353,44
420	2608,39	420	2353,44	420	2431,89	420	2431,89	420	2471,11
480	2824,13	480	2667,23	480	2706,46	480	2608,39	480	2706,46
540	3020,25	540	2863,35	540	2912,38	540	2824,13	540	2873,16
600	3196,76	600	3020,25	600	3137,92	600	2990,83	600	3118,31
-	-	660	3226,17	660	3363,46	660	3177,14	660	3275,20
-	-	720	3304,62	720	3598,80	720	3402,68	720	3481,13
-	-	750	3608,61	780	3696,86	780	3549,77	780	3706,67
-	-	-	-	840	3922,40	840	3785,12	840	3922,40
-	-	-	-	900	4138,13	900	3843,95	900	4040,07
-	-	-	-	-	-	960	3981,24	960	4147,94
-	-	-	-	-	-	1020	4059,68	1020	4245,99
-	-	-	-	-	-	1050	4275,42	1080	4432,31
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	4589,21
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	4716,69

Tabela A5: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	421,66	60	392,24	60	470,69	60	451,08	60	490,30
120	960,99	120	980,60	120	1039,44	120	941,38	120	1000,21
180	1451,29	180	1333,62	180	1568,96	180	1392,45	180	1470,90
240	1882,75	240	1961,20	240	2059,26	240	1735,66	240	1980,81
300	2314,22	300	2353,44	300	2451,50	300	2000,42	300	2363,25
360	2706,46	360	2804,52	360	2824,13	360	2412,28	360	2765,29
420	2961,41	420	3177,14	420	3039,86	420	2726,07	420	2981,02
480	3275,20	480	3873,37	480	3373,26	480	2981,02	480	3235,98
540	3569,38	540	4079,29	540	3647,83	540	3226,17	540	3510,55
600	3598,80	600	4304,83	600	3785,12	600	3549,77	600	3745,89
-	-	660	4589,21	660	4040,07	660	3755,69	660	3981,24
-	-	720	4804,94	720	4216,58	720	4059,68	720	4157,74
-	-	750	5177,57	780	4451,92	780	4128,33	780	4295,03
-	-	-	-	840	4648,04	840	4334,25	840	4402,89
-	-	-	-	900	4824,55	900	4451,92	900	4628,43
-	-	-	-	-	-	960	4648,04	960	4746,10
-	-	-	-	-	-	1020	4853,97	1020	4873,58
-	-	-	-	-	-	1050	4903,00	1080	4961,84
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	5148,15
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	5295,24

Tabela A6: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	441,27	60	460,88	60	421,66	60	500,11	60	509,91
120	941,38	120	1039,44	120	1078,66	120	902,15	120	980,60
180	1412,06	180	1608,18	180	1725,86	180	1500,32	180	1529,74
240	2039,65	240	2314,22	240	2431,89	240	2353,44	240	2206,35
300	2431,89	300	2843,74	300	2941,80	300	2971,22	300	2882,96
360	2696,65	360	3412,49	360	3490,94	360	3432,10	360	3490,94
420	2981,02	420	3804,79	420	3883,18	420	3814,534	420	3834,15
480	3255,59	480	4314,64	480	4451,92	480	4569,59	480	4667,66
540	3520,35	540	4667,66	540	4706,88	540	4785,33	540	4834,36
600	3804,73	600	5079,51	600	5177,57	600	5197,18	600	5079,51
-	-	660	5314,85	660	5393,30	660	5491,36	660	5599,23
-	-	720	5648,26	720	5785,54	720	5756,12	720	5785,54
-	-	750	5863,99	780	6030,69	780	6167,97	780	6217,00
-	-	-	-	840	6217,00	840	6315,06	840	6432,74
-	-	-	-	900	6432,74	900	6462,15	900	6570,02
-	-	-	-	-	-	960	6589,63	960	6668,08
-	-	-	-	-	-	1020	6756,33	1020	6785,75
-	-	-	-	-	-	1050	6942,65	1080	6991,68
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	7227,02
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	7285,86

Tabela A7: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	604,05	60	539,33	60	582,48	60	560,90	60	539,33
120	927,65	120	841,35	120	862,93	120	906,07	120	862,93
180	1337,54	180	1272,82	180	1315,97	180	1402,26	180	1359,11
240	1704,28	240	1617,99	240	1639,56	240	1682,71	240	1617,99
300	1984,73	300	1898,44	300	1920,01	300	1963,16	300	1941,59
360	2351,48	360	2308,33	360	2222,04	360	2265,19	360	2200,47
420	2653,50	420	2610,36	420	2588,78	420	2653,50	420	2588,78
480	2977,10	480	2912,38	480	2912,38	480	2955,53	480	2890,81
540	3343,85	540	3386,99	540	3300,69	540	3279,13	540	3214,41
600	3689,02	600	3796,88	600	3667,44	600	3753,74	600	3689,02
-	-	660	4271,49	660	4120,48	660	4142,05	660	4098,91
-	-	720	4336,21	720	4336,21	720	4422,51	720	4357,79
-	-	750	4638,24	780	4595,09	780	4702,96	780	4638,24
-	-	-	-	840	4853,97	840	4918,69	840	4875,54
-	-	-	-	900	5134,42	900	5220,71	900	5177,57
-	-	-	-	-	-	960	5544,31	960	5414,87
-	-	-	-	-	-	1020	5803,19	1020	5824,76
-	-	-	-	-	-	1050	6040,49	1080	6062,07
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	6364,09
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	6601,39

Tabela A8: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	715,84	60	735,45	60	921,76	60	882,54	60	862,93
120	1568,96	120	1333,62	120	1706,24	120	1725,86	120	1774,89
180	2343,63	180	1882,75	180	2314,22	180	2588,78	180	2529,95
240	3039,86	240	2392,66	240	2843,74	240	3294,82	240	3275,20
300	3628,22	300	2941,80	300	3255,59	300	4000,85	300	3912,59
360	4059,68	360	3392,88	360	3667,44	360	4549,99	360	4589,21
420	4481,34	420	3843,95	420	4000,85	420	5059,89	420	5099,12
480	4775,52	480	4589,21	480	4236,19	480	5256,02	480	5285,43
540	5138,34	540	4746,10	540	4491,15	540	5589,42	540	5687,48
600	5373,69	600	5001,06	600	4687,27	600	5883,60	600	5932,63
-	-	660	5236,40	660	4942,22	660	6217,00	660	6285,65
-	-	720	5510,97	720	5167,76	720	6432,74	720	6462,15
-	-	750	5589,42	780	5471,75	780	6609,24	780	6677,89
-	-	-	-	840	5628,64	840	6864,20	840	6972,07
-	-	-	-	900	5687,48	900	7099,54	900	7197,60
-	-	-	-	-	-	960	7325,08	960	7354,50
-	-	-	-	-	-	1020	7432,95	1020	7540,81
-	-	-	-	-	-	1050	7491,78	1080	7629,07
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	7766,35
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	7952,67

Tabela A9: Dados de filtração para a Rocha Fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	1627,79	60	1470,90	60	1559,15	60	1588,57	60	1510,12
120	2981,02	120	2647,62	120	2765,29	120	2726,07	120	2745,68
180	3687,06	180	3510,55	180	3618,41	180	3726,28	180	3618,41
240	4451,92	240	4275,42	240	4304,83	240	4216,58	240	4098,91
300	4981,45	300	4677,46	300	4804,94	300	4785,33	300	4687,27
360	5667,87	360	5177,57	360	5412,91	360	5285,43	360	5099,12
420	5903,21	420	5569,81	420	5677,67	420	5560,00	420	5452,14
480	6256,23	480	5922,82	480	6128,75	480	6060,11	480	5981,66
540	6638,66	540	6197,39	540	6295,45	540	6315,06	540	6383,71
600	6874,01	600	6520,99	600	6609,24	600	6530,79	600	6658,27
-	-	660	6883,81	660	6854,39	660	6864,20	660	7089,74
-	-	720	7001,48	720	7040,71	720	7070,13	720	7197,60
-	-	750	7128,96	780	7217,22	780	7266,27	780	7413,34
-	-	-	-	840	7305,47	840	7383,92	840	7472,17
-	-	-	-	900	7560,43	900	7648,68	900	7746,74
-	-	-	-	-	-	960	7834,99	960	7913,44
-	-	-	-	-	-	1020	8089,95	1020	8188,01
-	-	-	-	-	-	1050	8197,82	1080	8256,65
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	8423,35
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	8609,67

Anexo B

Dados de filtração para o polvilho doce

Tabela B1: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	176,51	60	156,89	60	176,51	60	156,89	60	156,89
120	235,34	120	225,54	120	205,93	120	245,15	120	186,31
180	294,18	180	274,57	180	264,76	180	294,18	180	215,73
240	353,02	240	323,59	240	323,59	240	362,82	240	274,57
300	402,05	300	411,85	300	402,05	300	421,66	300	323,59
360	451,08	360	549,14	360	490,30	360	509,91	360	392,24
420	509,91	420	588,36	420	568,75	420	637,39	420	431,46
480	598,17	480	607,97	480	627,58	480	735,45	480	509,91
540	725,64	540	637,39	540	696,23	540	764,87	540	588,36
600	784,48	600	696,23	600	784,48	600	784,48	600	666,81
-	-	660	784,48	660	862,93	660	833,51	660	745,26
-	-	720	862,93	720	951,18	720	872,73	720	813,89
-	-	750	921,76	780	1019,82	780	921,76	780	902,15
-	-	-	-	840	1176,72	840	1039,44	840	1019,82
-	-	-	-	900	1274,78	900	1088,47	900	1108,08
-	-	-	-	-	-	960	1157,11	960	1186,53
-	-	-	-	-	-	1020	1255,17	1020	1294,39
-	-	-	-	-	-	1050	1402,26	1080	1372,84
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	1470,90
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	1529,74

Tabela B2: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	166,70	60	176,51	60	196,12	60	176,51	60	176,51
120	196,12	120	196,12	120	235,34	120	205,93	120	215,73
180	254,96	180	235,34	180	294,18	180	245,15	180	254,96
240	333,40	240	303,99	240	372,63	240	333,40	240	303,99
300	421,66	300	392,24	300	451,08	300	411,85	300	411,85
360	509,91	360	451,08	360	549,14	360	470,69	360	490,30
420	627,58	420	568,75	420	647,19	420	558,94	420	578,55
480	735,45	480	666,81	480	764,87	480	666,81	480	696,23
540	862,93	540	784,48	540	882,54	540	784,48	540	813,89
600	980,60	600	872,73	600	1000,21	600	951,18	600	1000,21
-	-	660	1000,21	660	1147,30	660	1078,66	660	1127,69
-	-	720	1098,27	720	1264,97	720	1196,33	720	1235,56
-	-	750	1157,11	780	1333,62	780	1284,59	780	1323,81
-	-	-	-	840	1431,68	840	1412,06	840	1431,68
-	-	-	-	900	1519,93	900	1568,96	900	1598,38
-	-	-	-	-	-	960	1657,21	960	1696,44
-	-	-	-	-	-	1020	1745,47	1020	1765,08
-	-	-	-	-	-	1050	1774,89	1080	1872,95
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	2010,23
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	2147,51

Tabela B3: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ no tecido de acrílico nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	176,51	60	156,89	60	176,51	60	186,31	60	176,51
120	205,93	120	225,54	120	205,93	120	215,73	120	205,93
180	284,37	180	274,57	180	264,76	180	254,96	180	284,37
240	392,24	240	323,59	240	323,59	240	323,59	240	392,24
300	470,69	300	411,85	300	402,05	300	392,24	300	470,69
360	598,17	360	549,14	360	490,30	360	500,11	360	598,17
420	764,87	420	657,00	420	568,75	420	627,58	420	764,87
480	843,32	480	784,48	480	686,42	480	784,48	480	843,32
540	960,99	540	931,57	540	794,29	540	892,35	540	960,99
600	1117,88	600	1108,08	600	882,54	600	980,60	600	1117,88
-	-	660	1176,72	660	1029,63	660	1049,24	660	1186,53
-	-	720	1235,56	720	1147,30	720	1137,49	720	1294,39
-	-	750	1284,59	780	1294,39	780	1225,75	780	1451,29
-	-	-	-	840	1480,71	840	1353,23	840	1510,12
-	-	-	-	900	1745,47	900	1470,90	900	1568,96
-	-	-	-	-	-	960	1627,79	960	1716,05
-	-	-	-	-	-	1020	1755,27	1020	1892,56
-	-	-	-	-	-	1050	1892,56	1080	2000,42
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	2118,09
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	2265,19

Tabela B4: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	120,69	60	113,15	60	113,15	60	128,23	60	113,15
120	203,66	120	173,49	120	165,95	120	181,03	120	158,40
180	324,35	180	264,01	180	203,66	180	248,92	180	271,55
240	445,04	240	346,98	240	248,92	240	316,81	240	309,27
300	535,56	300	429,96	300	354,52	300	437,50	300	377,15
360	603,45	360	565,73	360	445,04	360	550,64	360	520,47
420	686,42	420	633,62	420	558,19	420	618,53	420	603,45
480	761,85	480	701,51	480	618,53	480	731,68	480	663,79
540	829,79	540	761,85	540	686,42	540	754,31	540	693,96
600	912,71	600	829,74	600	784,48	600	814,65	600	754,31
-	-	660	935,34	660	920,26	660	837,28	660	890,08
-	-	720	1018,32	720	980,60	720	912,71	720	935,34
-	-	750	1071,12	780	1063,57	780	973,06	780	995,69
-	-	-	-	840	1154,09	840	1056,03	840	1131,46
-	-	-	-	900	1214,44	900	1176,72	900	1191,81
-	-	-	-	-	-	960	1282,32	960	1297,41
-	-	-	-	-	-	1020	1335,12	1020	1350,21
-	-	-	-	-	-	1050	1357,75	1080	1395,47
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	1425,64
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	1448,27

Tabela B5: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	176,51	60	156,89	60	117,67	60	235,34	60	196,12
120	303,99	120	235,34	120	156,89	120	353,02	120	284,37
180	490,30	180	402,05	180	196,12	180	460,88	180	392,24
240	627,58	240	529,52	240	333,40	240	588,36	240	509,91
300	774,67	300	676,61	300	500,11	300	745,26	300	647,19
360	862,93	360	813,89	360	657,00	360	853,12	360	784,48
420	980,60	420	960,99	420	813,89	420	980,60	420	902,15
480	1078,66	480	1039,44	480	931,57	480	1019,82	480	970,79
540	1186,53	540	1147,30	540	1019,82	540	1127,69	540	1039,44
600	1314,00	600	1215,94	600	1147,30	600	1196,33	600	1098,27
-	-	660	1363,03	660	1274,78	660	1323,81	660	1157,11
-	-	720	1451,29	720	1372,84	720	1392,45	720	1304,19
-	-	750	1519,93	780	1539,54	780	1529,74	780	1412,06
-	-	-	-	840	1627,79	840	1637,60	840	1529,74
-	-	-	-	900	1745,47	900	1804,30	900	1667,02
-	-	-	-	-	-	960	1863,14	960	1725,86
-	-	-	-	-	-	1020	1921,98	1020	1784,69
-	-	-	-	-	-	1050	1941,59	1080	1843,53
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	1921,98
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	2010,23

Tabela B6: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F = 10\text{cm/s}$ no tecido de poliéster nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	162,01	60	144,96	60	153,49	60	170,54	60	153,49
120	281,39	120	255,81	120	255,81	120	315,50	120	247,28
180	486,04	180	417,82	180	451,93	180	392,24	180	349,61
240	588,36	240	605,41	240	596,89	240	545,73	240	503,09
300	750,37	300	750,37	300	733,32	300	673,63	300	622,47
360	835,64	360	852,70	360	827,11	360	767,43	360	758,90
420	946,49	420	963,55	420	929,44	420	937,97	420	920,91
480	1117,03	480	1108,50	480	1151,14	480	1006,18	480	1023,23
540	1193,77	540	1236,41	540	1270,52	540	1065,87	540	1108,50
600	1261,99	600	1279,04	600	1338,73	600	1168,19	600	1219,35
-	-	660	1338,73	660	1432,53	660	1253,46	660	1287,57
-	-	720	1424,00	720	1526,33	720	1330,21	720	1398,42
-	-	750	1475,16	780	1620,12	780	1406,95	780	1492,22
-	-	-	-	840	1645,70	840	1517,80	840	1543,38
-	-	-	-	900	1722,45	900	1637,18	900	1688,34
-	-	-	-	-	-	960	1765,08	960	1790,66
-	-	-	-	-	-	1020	1867,40	1020	1867,40
-	-	-	-	-	-	1050	1927,09	1080	1935,62
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	2046,47
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	2148,79

Tabela B7: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	353,02	60	313,79	60	353,02	60	313,79	60	313,79
120	470,69	120	451,08	120	411,02	120	490,30	120	372,63
180	588,36	180	549,14	180	529,52	180	588,36	180	431,46
240	706,03	240	647,20	240	647,20	240	725,64	240	549,14
300	804,09	300	823,70	300	804,09	300	843,32	300	647,20
360	902,15	360	1098,27	360	980,60	360	1019,82	360	784,48
420	1019,82	420	1176,72	420	1137,50	420	1274,78	420	862,93
480	1196,33	480	1215,94	480	1255,17	480	1470,90	480	1019,82
540	1451,29	540	1274,78	540	1392,45	540	1529,74	540	1176,72
600	1568,96	600	1392,45	600	1568,96	600	1568,96	600	1333,62
-	-	660	1568,96	660	1725,86	660	1667,02	660	1490,51
-	-	720	1725,86	720	1902,36	720	1745,47	720	1627,80
-	-	750	1843,53	780	2039,65	780	1843,53	780	1804,30
-	-	-	-	840	2353,44	840	2078,87	840	2039,65
-	-	-	-	900	2549,56	900	2176,93	900	2216,16
-	-	-	-	-	-	960	2314,22	960	2373,05
-	-	-	-	-	-	1020	2510,34	1020	2588,78
-	-	-	-	-	-	1050	2804,52	1080	2745,68
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	2941,80
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	3059,47

Tabela B8: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	284,37	60	264,76	60	274,57	60	284,37	60	274,57
120	539,33	120	480,49	120	509,91	120	588,36	120	558,94
180	715,84	180	666,81	180	676,61	180	735,45	180	715,84
240	833,51	240	892,35	240	862,93	240	872,73	240	862,93
300	970,79	300	970,79	300	970,79	300	1029,63	300	1039,44
360	1127,69	360	1137,49	360	1147,30	360	1166,91	360	1176,72
420	1343,42	420	1363,03	420	1372,84	420	1363,03	420	1353,23
480	1480,71	480	1578,77	480	1617,99	480	1676,83	480	1716,05
540	1667,02	540	1755,27	540	1774,89	540	1853,33	540	1843,53
600	1882,75	600	1941,59	600	1961,20	600	1941,59	600	1912,17
-	-	660	2039,65	660	2069,07	660	2118,09	660	2147,51
-	-	720	2147,51	720	2176,93	720	2206,35	720	2245,57
-	-	750	2314,22	780	2324,02	780	2353,44	780	2461,31
-	-	-	-	840	2441,69	840	2480,92	840	2578,98
-	-	-	-	900	2520,14	900	2608,39	900	2735,87
-	-	-	-	-	-	960	2657,43	960	2843,74
-	-	-	-	-	-	1020	2824,13	1020	2990,83
-	-	-	-	-	-	1050	2931,99	1080	3098,69
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	3226,17
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	3422,29

Tabela B9: Dados de filtração para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ no tecido de polipropileno nos diferentes tempos de filtração

Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$	Tempo(s)	$\Delta P(\text{N/m}^2)$
60	284,37	60	264,76	60	274,57	60	284,37	60	274,57
120	539,33	120	470,69	120	568,75	120	676,61	120	549,14
180	725,64	180	676,61	180	764,87	180	764,87	180	745,26
240	853,12	240	970,79	240	951,18	240	980,60	240	872,73
300	1029,63	300	1068,85	300	1068,85	300	1137,49	300	1127,69
360	1225,75	360	1235,56	360	1255,17	360	1274,78	360	1294,39
420	1431,68	420	1470,90	420	1480,71	420	1470,90	420	1461,09
480	1598,38	480	1686,63	480	1735,66	480	1823,92	480	1804,30
540	1804,30	540	1863,14	540	1902,36	540	1951,39	540	1951,39
600	2029,84	600	2039,65	600	2020,04	600	2078,87	600	2039,65
-	-	660	2127,90	660	2216,16	660	2265,19	660	2255,38
-	-	720	2235,77	720	2333,83	720	2353,44	720	2382,86
-	-	750	2392,66	780	2451,50	780	2490,72	780	2539,75
-	-	-	-	840	2559,37	840	2578,98	840	2726,07
-	-	-	-	900	2667,23	900	2735,87	900	2882,96
-	-	-	-	-	-	960	2843,74	960	3010,44
-	-	-	-	-	-	1020	2931,99	1020	3128,11
-	-	-	-	-	-	1050	3059,47	1080	3373,26
-	-	-	-	-	-	-	-	1140	3618,41
-	-	-	-	-	-	-	-	1200	3785,12

Anexo C

Dados de limpeza para a rocha fosfática

Tabela C1: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	0,837	8,9	8,063	0,906
1	1,9	0,439	8,9	7,624	0,857
2	2,1	0,598	8,9	7,026	0,789
3	2,4	0,330	8,9	6,696	0,752
6	2,5	1,677	8,9	5,019	0,564
9	2,8	0,536	8,9	4,483	0,504
12	3,1	0,431	8,9	4,052	0,455
15	3,4	0,321	8,9	3,731	0,419

Tabela C2: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	2,628	12,1	9,472	0,7828
1	1,7	1,287	12,1	8,185	0,6764
2	1,9	0,544	12,1	7,641	0,6315
3	2,0	0,423	12,1	7,218	0,5965
6	2,3	2,227	12,1	4,991	0,4125
9	2,6	0,689	12,1	4,302	0,3555
12	3,0	0,248	12,1	4,054	0,3350
15	3,4	0,322	12,1	3,732	0,3084

Tabela C3: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	4,230	14,01	9,780	0,698
1	1,7	0,592	14,01	9,188	0,656
2	1,9	1,134	14,01	8,054	0,575
3	2,1	0,887	14,01	7,167	0,512
6	2,4	2,605	14,01	4,562	0,326
9	2,7	0,703	14,01	3,859	0,275
12	3,1	0,456	14,01	3,403	0,243
15	3,4	0,448	14,01	2,955	0,211

Tabela C4: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	5,819	16,04	10,221	0,637
1	1,8	1,220	16,04	9,001	0,561
2	2,0	0,513	16,04	8,488	0,529
3	2,2	0,892	16,04	7,596	0,474
6	2,6	2,547	16,04	5,049	0,315
9	2,8	1,083	16,04	3,966	0,247
12	3,2	0,328	16,04	3,638	0,227
15	3,5	0,494	16,04	3,144	0,196

Tabela C5: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	8,112	19,87	11,758	0,592
1	1,6	1,871	19,87	9,887	0,498
2	1,7	2,597	19,87	7,290	0,367
3	1,9	1,231	19,87	6,059	0,305
6	2,2	2,888	19,87	3,171	0,159
9	2,5	0,907	19,87	2,264	0,114
12	3,0	0,082	19,87	2,182	0,109
15	3,4	0,014	19,87	2,168	0,108

Tabela C6: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,7	1,281	9,14	7,859	0,859
1	1,9	0,461	9,14	7,398	0,809
2	2,1	0,503	9,14	6,895	0,754
3	2,3	0,325	9,14	6,570	0,719
6	2,5	1,757	9,14	4,813	0,527
9	2,9	0,526	9,14	4,287	0,469
12	3,1	0,415	9,14	3,872	0,424
15	3,3	0,303	9,14	3,569	0,391

Tabela C7: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	2,458	12,78	10,322	0,808
1	1,8	1,052	12,78	9,270	0,725
2	2,0	1,639	12,78	7,631	0,597
3	2,2	0,835	12,78	6,796	0,532
6	2,6	2,517	12,78	4,279	0,335
9	2,9	0,882	12,78	3,397	0,266
12	3,3	0,170	12,78	3,227	0,253
15	3,6	0,106	12,78	3,121	0,244

Tabela C8: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	4,423	14,6	10,177	0,697
1	1,8	0,878	14,6	9,299	0,637
2	2,0	1,474	14,6	7,825	0,536
3	2,2	0,598	14,6	7,227	0,495
6	2,6	2,986	14,6	4,241	0,291
9	3,0	0,756	14,6	3,485	0,239
12	3,4	0,411	14,6	3,074	0,211
15	3,7	0,381	14,6	2,693	0,185

Tabela C9: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O},2)$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	5,405	15,55	10,145	0,652
1	1,8	0,548	15,55	9,597	0,617
2	2,0	1,264	15,55	8,333	0,536
3	2,2	1,052	15,55	7,281	0,468
6	2,7	3,189	15,55	4,092	0,263
9	3,0	1,094	15,55	2,998	0,193
12	3,5	0,189	15,55	2,809	0,181
15	3,7	0,441	15,55	2,368	0,152

Tabela C10: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	7,125	19,16	12,035	0,628
1	1,7	1,882	19,16	10,153	0,529
2	1,9	1,262	19,16	8,891	0,464
3	2,0	1,974	19,16	6,917	0,361
6	2,3	3,850	19,16	3,067	0,160
9	2,8	0,610	19,16	2,457	0,128
12	3,2	0,251	19,16	2,206	0,115
15	3,5	0,224	19,16	1,982	0,103

Tabela C11: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	0,820	8,3	7,480	0,901
1	1,9	0,172	8,3	7,308	0,881
2	2,2	0,429	8,3	6,879	0,829
3	2,3	0,278	8,3	6,601	0,795
6	2,4	1,576	8,3	5,025	0,605
9	2,7	0,362	8,3	4,663	0,562
12	3,0	0,309	8,3	4,354	0,525
15	3,3	0,242	8,3	4,112	0,495

Tabela C12: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	1,598	12,01	10,412	0,867
1	1,8	0,740	12,01	9,672	0,805
2	2,0	0,611	12,01	9,061	0,755
3	2,2	0,437	12,01	8,624	0,718
6	2,3	2,230	12,01	6,394	0,532
9	2,6	0,678	12,01	5,716	0,476
12	2,9	0,620	12,01	5,096	0,424
15	3,2	0,381	12,01	4,715	0,393

Tabela C13: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	2,875	14,18	11,305	0,797
1	1,8	0,359	14,18	10,946	0,772
2	2,0	0,943	14,18	10,003	0,705
3	2,1	0,438	14,18	9,565	0,675
6	2,3	2,181	14,18	7,384	0,521
9	2,6	0,953	14,18	6,431	0,454
12	2,9	0,644	14,18	5,787	0,408
15	3,2	0,596	14,18	5,191	0,366

Tabela C14: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	5,168	16,05	10,882	0,678
1	1,8	0,591	16,05	10,291	0,641
2	2,0	1,582	16,05	8,709	0,543
3	2,1	0,962	16,05	7,747	0,483
6	2,4	2,819	16,05	4,928	0,307
9	2,7	1,297	16,05	3,631	0,226
12	2,9	0,186	16,05	3,445	0,215
15	3,3	0,428	16,05	3,017	0,188

Tabela C15: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	6,944	19,08	12,136	0,636
1	1,7	1,898	19,08	10,238	0,537
2	1,9	1,460	19,08	8,778	0,460
3	2,0	1,835	19,08	6,943	0,364
6	2,3	3,547	19,08	3,396	0,178
9	2,8	0,305	19,08	3,091	0,162
12	3,2	0,187	19,08	2,904	0,152
15	3,5	0,410	19,08	2,494	0,131

Tabela C16: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,8	1,480	9,2	7,720	0,839
1	0,9	0,716	9,2	7,004	0,761
2	1,0	0,570	9,2	6,434	0,699
3	1,2	0,854	9,2	5,580	0,606
6	1,3	1,676	9,2	3,904	0,424
9	1,4	0,346	9,2	3,558	0,387
12	1,7	0,338	9,2	3,220	0,350
15	2,0	0,213	9,2	3,007	0,327

Tabela C17: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,8	3,719	12,73	9,011	0,708
1	0,9	1,486	12,73	7,525	0,591
2	1,0	1,016	12,73	6,509	0,511
3	1,1	0,363	12,73	6,146	0,483
6	1,2	1,846	12,73	4,300	0,338
9	1,4	0,619	12,73	3,681	0,289
12	1,6	0,285	12,73	3,396	0,267
15	1,9	0,106	12,73	3,290	0,258

Tabela C18: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,9	4,893	14,94	10,047	0,673
1	1,0	2,012	14,94	8,035	0,538
2	1,1	1,196	14,94	6,839	0,458
3	1,2	0,490	14,94	6,349	0,425
6	1,3	2,406	14,94	3,943	0,264
9	1,5	0,669	14,94	3,274	0,219
12	1,7	0,561	14,94	2,713	0,182
15	2,0	0,477	14,94	2,236	0,149

Tabela C19: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,8	6,846	14,94	8,094	0,542
1	0,9	1,363	14,94	6,731	0,451
2	1,0	0,995	14,94	5,736	0,384
3	1,2	0,468	14,94	5,268	0,353
6	1,3	2,169	14,94	3,099	0,207
9	1,4	0,596	14,94	2,503	0,168
12	1,6	0,452	14,94	2,051	0,137
15	1,9	0,434	14,94	1,617	0,108

Tabela C20: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,9	9,202	19,08	9,878	0,518
1	1,1	1,413	19,08	8,465	0,444
2	1,2	1,301	19,08	7,164	0,376
3	1,3	0,653	19,08	6,511	0,341
6	1,4	3,022	19,08	3,489	0,183
9	1,6	1,017	19,08	2,472	0,129
12	1,8	0,334	19,08	2,138	0,112
15	2,0	0,584	19,08	1,554	0,081

Tabela C21: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,1	0,824	8,8	7,976	0,906
1	1,5	0,683	8,8	7,293	0,829
2	1,7	0,507	8,8	6,786	0,771
3	1,8	0,325	8,8	6,461	0,734
6	1,9	1,644	8,8	4,817	0,547
9	2,1	0,687	8,8	4,130	0,469
12	2,4	0,473	8,8	3,657	0,416
15	2,6	0,362	8,8	3,295	0,374

Tabela C22: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,0	2,198	12,33	10,132	0,822
1	1,2	0,937	12,33	9,195	0,746
2	1,4	0,406	12,33	8,789	0,713
3	1,6	0,861	12,33	7,928	0,643
6	1,7	3,086	12,33	4,842	0,393
9	2,0	0,762	12,33	4,080	0,331
12	2,3	0,661	12,33	3,419	0,277
15	2,5	0,387	12,33	3,032	0,246

Tabela C23: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,0	3,154	14,06	10,906	0,776
1	1,4	1,114	14,06	9,792	0,696
2	1,5	1,287	14,06	8,505	0,605
3	1,6	0,671	14,06	7,834	0,557
6	1,8	2,773	14,06	5,061	0,360
9	2,0	0,964	14,06	4,097	0,291
12	2,3	0,625	14,06	3,472	0,247
15	2,6	0,408	14,06	3,064	0,218

Tabela C24: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,0	5,439	15,48	10,041	0,649
1	1,1	1,027	15,48	9,014	0,582
2	1,4	0,611	15,48	8,403	0,543
3	1,6	0,780	15,48	7,623	0,492
6	1,9	3,218	15,48	4,405	0,285
9	2,1	0,785	15,48	3,620	0,234
12	2,4	0,891	15,48	2,729	0,176
15	2,7	0,500	15,48	2,229	0,144

Tabela C25: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,0	7,883	19,22	11,337	0,589
1	1,3	1,546	19,22	9,791	0,509
2	1,4	0,750	19,22	9,041	0,470
3	1,7	0,993	19,22	8,048	0,419
6	1,9	2,706	19,22	5,342	0,278
9	2,1	0,959	19,22	4,383	0,228
12	2,5	1,163	19,22	3,220	0,168
15	2,7	0,894	19,22	2,326	0,121

Tabela C26: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	0,814	8,66	7,846	0,906
1	1,6	0,628	8,66	7,218	0,834
2	1,7	0,302	8,66	6,916	0,799
3	1,9	0,284	8,66	6,632	0,766
6	2,0	2,100	8,66	4,532	0,523
9	2,3	0,361	8,66	4,171	0,482
12	2,6	0,438	8,66	3,733	0,431
15	2,8	0,466	8,66	3,267	0,377

Tabela C27: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	2,162	12,41	10,248	0,826
1	1,6	0,224	12,41	10,024	0,808
2	1,9	0,544	12,41	9,480	0,764
3	2,0	0,682	12,41	8,798	0,709
6	2,2	2,759	12,41	6,039	0,487
9	2,4	0,506	12,41	5,533	0,446
12	2,7	0,733	12,41	4,800	0,387
15	3,0	0,526	12,41	4,274	0,344

Tabela C28: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	3,348	14,34	10,992	0,767
1	1,6	1,641	14,34	9,351	0,652
2	1,7	0,759	14,34	8,592	0,599
3	1,8	0,623	14,34	7,969	0,556
6	2,0	2,585	14,34	5,384	0,376
9	2,4	0,556	14,34	4,828	0,337
12	2,8	0,307	14,34	4,521	0,315
15	3,0	0,559	14,34	3,962	0,276

Tabela C29: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	5,143	16,38	11,237	0,686
1	1,5	2,105	16,38	9,132	0,558
2	1,6	1,387	16,38	7,745	0,473
3	1,8	0,453	16,38	7,292	0,445
6	2,0	2,973	16,38	4,319	0,264
9	2,3	0,900	16,38	3,419	0,209
12	2,7	0,625	16,38	2,794	0,171
15	3,0	0,398	16,38	2,396	0,146

Tabela C30: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	8,219	20,45	12,231	0,598
1	1,5	1,872	20,45	10,359	0,507
2	1,6	1,160	20,45	9,199	0,449
3	1,7	0,771	20,45	8,428	0,412
6	1,8	3,141	20,45	5,287	0,259
9	2,0	1,266	20,45	4,021	0,197
12	2,5	0,996	20,45	3,025	0,148
15	2,9	0,498	20,45	2,527	0,124

Tabela C31: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,9	1,219	8,6	7,381	0,858
1	2,4	0,880	8,6	6,501	0,756
2	2,8	0,758	8,6	5,743	0,668
3	3,3	0,597	8,6	5,146	0,598
6	4,3	1,408	8,6	3,738	0,435
9	5,7	0,460	8,6	3,278	0,381
12	6,4	0,268	8,6	3,010	0,350
15	8,0	0,252	8,6	2,758	0,321

Tabela C32: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,8	2,967	12,02	9,053	0,753
1	2,4	1,327	12,02	7,726	0,643
2	2,8	0,599	12,02	7,127	0,593
3	3,2	0,561	12,02	6,566	0,546
6	4,6	1,899	12,02	4,667	0,388
9	5,6	0,575	12,02	4,092	0,340
12	6,5	0,437	12,02	3,655	0,304
15	8,2	0,326	12,02	3,329	0,277

Tabela C33: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,8	4,448	14,18	9,732	0,686
1	2,5	1,540	14,18	8,192	0,578
2	2,9	0,757	14,18	7,435	0,524
3	3,2	0,623	14,18	6,812	0,480
6	4,4	2,385	14,18	4,427	0,312
9	5,6	0,456	14,18	3,971	0,280
12	6,6	0,307	14,18	3,664	0,258
15	8,2	0,549	14,18	3,115	0,219

Tabela C34: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,9	6,107	16,07	9,963	0,620
1	2,3	2,110	16,07	7,853	0,489
2	2,8	1,178	16,07	6,675	0,415
3	3,3	0,423	16,07	6,252	0,389
6	4,6	2,447	16,07	3,805	0,237
9	5,5	0,692	16,07	3,113	0,194
12	6,5	0,491	16,07	2,622	0,163
15	8,1	0,311	16,07	2,311	0,144

Tabela C35: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,8	8,317	19,08	10,763	0,564
1	2,4	2,105	19,08	8,658	0,454
2	2,9	1,390	19,08	7,268	0,381
3	3,3	0,681	19,08	6,587	0,345
6	4,5	3,030	19,08	3,557	0,186
9	5,6	1,037	19,08	2,520	0,132
12	6,6	0,486	19,08	2,034	0,107
15	8,3	0,315	19,08	1,719	0,090

Tabela C36: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,2	0,944	8,98	8,036	0,895
1	3,8	0,782	8,98	7,254	0,808
2	5,3	0,499	8,98	6,755	0,752
3	7,1	0,229	8,98	6,526	0,727
6	9,0	1,662	8,98	4,864	0,542
9	10,9	0,788	8,98	4,076	0,454
12	13,4	0,492	8,98	3,584	0,399
15	15,3	0,297	8,98	3,287	0,366

Tabela C37: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,1	2,189	12,06	9,871	0,819
1	3,7	0,872	12,06	8,999	0,746
2	5,6	0,486	12,06	8,513	0,706
3	7,4	0,830	12,06	7,683	0,637
6	9,2	3,166	12,06	4,517	0,375
9	11,0	0,599	12,06	3,918	0,325
12	13,3	0,564	12,06	3,354	0,278
15	14,5	0,258	12,06	3,096	0,257

Tabela C38: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,2	3,192	14,0	10,808	0,772
1	3,8	1,106	14,0	9,702	0,693
2	5,4	1,392	14,0	8,310	0,594
3	7,2	0,562	14,0	7,748	0,553
6	9,1	2,797	14,0	4,951	0,354
9	10,8	0,969	14,0	3,982	0,284
12	13,3	0,421	14,0	3,561	0,254
15	15,2	0,511	14,0	3,050	0,218

Tabela C39: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,1	5,421	16,1	10,679	0,663
1	3,9	1,047	16,1	9,632	0,598
2	5,2	0,609	16,1	9,023	0,560
3	7,0	0,770	16,1	8,253	0,513
6	9,0	3,233	16,1	5,020	0,312
9	11,1	0,934	16,1	4,086	0,254
12	13,4	1,088	16,1	2,998	0,186
15	15,0	0,564	16,1	2,434	0,151

Tabela C40: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,2	7,551	19,01	11,459	0,603
1	3,8	1,839	19,01	9,620	0,506
2	5,4	0,705	19,01	8,915	0,469
3	7,1	0,998	19,01	7,917	0,417
6	8,6	2,657	19,01	5,260	0,277
9	11,1	0,900	19,01	4,360	0,229
12	13,4	0,890	19,01	3,470	0,183
15	15,1	0,880	19,01	2,590	0,136

Tabela C41: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,9	1,513	9,08	7,567	0,833
1	4,7	0,880	9,08	6,687	0,737
2	5,7	0,858	9,08	5,829	0,642
3	7,2	0,697	9,08	5,132	0,565
6	10,6	1,508	9,08	3,624	0,399
9	15,2	0,460	9,08	3,164	0,349
12	19,3	0,268	9,08	2,896	0,319
15	22,4	0,252	9,08	2,644	0,291

Tabela C42: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,9	2,967	11,82	8,853	0,749
1	4,8	1,327	11,82	7,526	0,637
2	5,6	0,599	11,82	6,927	0,586
3	7,3	0,561	11,82	6,366	0,539
6	10,4	1,899	11,82	4,467	0,378
9	15,0	0,575	11,82	3,892	0,329
12	19,0	0,437	11,82	3,455	0,292
15	22,1	0,326	11,82	3,129	0,269

Tabela C43: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,8	4,448	14,07	9,622	0,684
1	4,8	1,541	14,07	8,081	0,574
2	5,6	0,759	14,07	7,322	0,520
3	7,2	0,623	14,07	6,699	0,476
6	10,1	2,585	14,07	4,114	0,292
9	14,9	0,556	14,07	3,558	0,253
12	19,2	0,307	14,07	3,251	0,231
15	22,7	0,559	14,07	2,692	0,191

Tabela C44: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,8	6,155	15,92	9,765	0,613
1	4,9	2,100	15,92	7,665	0,482
2	5,7	1,178	15,92	6,487	0,408
3	7,1	0,423	15,92	6,064	0,381
6	10,2	2,447	15,92	3,617	0,227
9	14,9	0,692	15,92	2,925	0,184
12	19,0	0,491	15,92	2,434	0,153
15	22,5	0,311	15,92	2,123	0,133

Tabela C45: Dados de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,8	8,317	19,66	11,343	0,577
1	4,7	2,105	19,66	9,238	0,469
2	5,8	1,390	19,66	7,848	0,399
3	7,4	0,681	19,66	7,167	0,365
6	10,0	3,130	19,66	4,037	0,205
9	15,1	1,137	19,66	2,900	0,147
12	19,3	0,586	19,66	2,314	0,118
15	22,6	0,315	19,66	1,999	0,102

Anexo D

Dados de limpeza para o polvilho doce

Tabela D1: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,2	2,066	9,5	7,434	0,783
1	1,3	1,740	9,5	5,694	0,599
2	1,5	0,995	9,5	4,699	0,495
3	1,6	0,389	9,5	4,310	0,454
6	1,8	1,445	9,5	2,865	0,302
9	2,0	0,118	9,5	2,747	0,289
12	2,3	0,020	9,5	2,727	0,287
15	2,6	0,020	9,5	2,707	0,285

Tabela D2: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,2	3,447	12,95	9,503	0,734
1	1,3	2,196	12,95	7,307	0,564
2	1,4	1,519	12,95	5,788	0,447
3	1,6	0,603	12,95	5,185	0,400
6	1,8	1,608	12,95	3,577	0,276
9	2,0	0,168	12,95	3,409	0,263
12	2,4	0,188	12,95	3,221	0,249
15	2,6	0,319	12,95	2,902	0,224

Tabela D3: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,2	4,556	14,96	10,404	0,696
1	1,4	2,983	14,96	7,421	0,496
2	1,5	2,701	14,96	4,720	0,316
3	1,6	0,829	14,96	3,891	0,260
6	2,0	1,047	14,96	2,844	0,190
9	2,2	0,117	14,96	2,727	0,1823
12	2,6	0,015	14,96	2,712	0,181
15	2,7	0,01	14,96	2,702	0,180

Tabela D4: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,2	6,225	16,01	9,785	0,611
1	1,3	4,222	16,01	5,563	0,348
2	1,4	1,609	16,01	3,954	0,247
3	1,5	0,579	16,01	3,375	0,211
6	1,8	1,107	16,01	2,268	0,142
9	2,0	0,079	16,01	2,189	0,137
12	2,4	0,005	16,01	2,184	0,136
15	2,6	0,007	16,01	2,177	0,136

Tabela D5: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,2	8,424	19,51	11,086	0,568
1	1,4	5,027	19,51	6,059	0,311
2	1,5	2,309	19,51	3,750	0,192
3	1,6	0,832	19,51	2,918	0,149
6	1,9	1,312	19,51	1,606	0,082
9	2,2	0,091	19,51	1,515	0,078
12	2,6	0,032	19,51	1,483	0,076
15	2,8	0,036	19,51	1,447	0,074

Tabela D6: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,3	2,298	9,15	6,852	0,749
1	1,5	1,889	9,15	4,963	0,542
2	1,7	0,526	9,15	4,437	0,485
3	1,8	0,613	9,15	3,824	0,418
6	2,0	1,122	9,15	2,702	0,295
9	2,4	0,460	9,15	2,242	0,245
12	2,7	0,085	9,15	2,157	0,236
15	3,0	0,047	9,15	2,110	0,231

Tabela D7: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,3	4,345	12,99	8,645	0,666
1	1,4	1,814	12,99	6,831	0,526
2	1,6	0,646	12,99	6,185	0,476
3	1,8	0,942	12,99	5,243	0,404
6	2,0	1,760	12,99	3,483	0,268
9	2,3	0,525	12,99	2,958	0,228
12	2,6	0,150	12,99	2,808	0,216
15	3,0	0,091	12,99	2,717	0,209

Tabela D8: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	5,423	14,78	9,357	0,633
1	1,5	1,753	14,78	7,604	0,515
2	1,6	0,718	14,78	6,886	0,466
3	1,8	1,033	14,78	5,853	0,396
6	2,1	1,967	14,78	3,886	0,263
9	2,4	0,674	14,78	3,212	0,217
12	2,8	0,241	14,78	2,971	0,201
15	3,1	0,249	14,78	2,722	0,184

Tabela D9: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O},2)$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	7,310	16,14	8,830	0,547
1	1,5	2,769	16,14	6,061	0,376
2	1,6	1,667	16,14	4,394	0,272
3	1,7	0,728	16,14	3,666	0,227
6	2,0	1,474	16,14	2,192	0,136
9	2,2	0,136	16,14	2,056	0,127
12	2,6	0,023	16,14	2,033	0,126
15	2,8	0,023	16,14	2,010	0,125

Tabela D10: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	9,524	19,51	9,986	0,512
1	1,5	3,227	19,51	6,759	0,346
2	1,6	2,409	19,51	4,350	0,223
3	1,8	1,032	19,51	3,318	0,170
6	2,0	1,812	19,51	1,506	0,077
9	2,2	0,191	19,51	1,315	0,067
12	2,6	0,032	19,51	1,283	0,066
15	2,7	0,046	19,51	1,247	0,064

Tabela D11: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	1,758	8,96	7,202	0,804
1	1,5	1,541	8,96	5,661	0,632
2	1,7	0,677	8,96	4,984	0,556
3	1,8	0,341	8,96	4,643	0,518
6	2,0	1,572	8,96	3,071	0,343
9	2,2	0,827	8,96	2,244	0,250
12	2,5	0,117	8,96	2,127	0,237
15	2,9	0,039	8,96	2,088	0,233

Tabela D12: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	3,338	13,37	10,032	0,750
1	1,5	2,170	13,37	7,862	0,588
2	1,6	1,644	13,37	6,218	0,465
3	1,7	0,762	13,37	5,456	0,408
6	2,0	2,278	13,37	3,178	0,238
9	2,2	0,439	13,37	2,739	0,205
12	2,4	0,025	13,37	2,714	0,203
15	2,9	0,028	13,37	2,686	0,201

Tabela D13: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	4,945	15,24	10,295	0,676
1	1,5	3,166	15,24	7,129	0,468
2	1,6	1,483	15,24	5,646	0,371
3	1,7	0,571	15,24	5,075	0,333
6	2,0	2,472	15,24	2,603	0,171
9	2,2	0,233	15,24	2,370	0,156
12	2,5	0,003	15,24	2,367	0,155
15	3,0	0,003	15,24	2,364	0,155

Tabela D14: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,4	7,113	17,5	10,387	0,594
1	1,5	3,117	17,5	7,270	0,415
2	1,7	2,284	17,5	4,986	0,285
3	1,8	0,716	17,5	4,270	0,244
6	2,0	1,982	17,5	2,288	0,131
9	2,4	0,115	17,5	2,173	0,124
12	2,7	0,016	17,5	2,157	0,123
15	3,0	0,017	17,5	2,140	0,122

Tabela D15: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de acrílico

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,3	8,938	19,93	10,992	0,552
1	1,4	4,440	19,93	6,552	0,329
2	1,5	0,939	19,93	5,613	0,282
3	1,6	0,677	19,93	4,936	0,248
6	1,8	2,785	19,93	2,151	0,108
9	2,0	0,224	19,93	1,927	0,097
12	2,4	0,105	19,93	1,822	0,091
15	2,8	0,106	19,93	1,716	0,086

Tabela D16: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,2	1,844	8,96	7,116	0,794
1	0,3	0,898	8,96	6,218	0,694
2	0,4	1,798	8,96	4,420	0,493
3	0,5	0,072	8,96	4,348	0,485
6	0,6	1,035	8,96	3,313	0,369
9	0,8	0,215	8,96	3,098	0,346
12	1,2	0,096	8,96	3,002	0,335
15	1,5	0,019	8,96	2,983	0,333

Tabela D17: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,2	3,027	12,75	9,723	0,763
1	0,5	1,914	12,75	7,809	0,613
2	0,6	1,735	12,75	6,074	0,476
3	0,7	0,771	12,75	5,303	0,416
6	0,9	1,758	12,75	3,545	0,278
9	1,2	0,239	12,75	3,306	0,259
12	1,4	0,091	12,75	3,215	0,252
15	1,6	0,056	12,75	3,159	0,248

Tabela D18: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,2	4,070	14,66	10,590	0,722
1	0,5	2,761	14,66	7,829	0,534
2	0,6	3,584	14,66	4,245	0,289
3	0,7	0,148	14,66	4,097	0,279
6	0,9	1,321	14,66	2,776	0,189
9	1,2	0,515	14,66	2,261	0,154
12	1,4	0,171	14,66	2,090	0,143
15	1,7	0,059	14,66	2,031	0,139

Tabela D19: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,2	5,432	16,49	11,058	0,671
1	0,4	5,423	16,49	5,626	0,341
2	0,5	2,439	16,49	3,187	0,193
3	0,6	0,221	16,49	2,966	0,179
6	0,8	0,909	16,49	2,057	0,125
9	1,1	0,154	16,49	2,211	0,134
12	1,3	0,095	16,49	2,306	0,139
15	1,5	0,905	16,49	1,401	0,085

Tabela D20: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,2	8,180	20,01	11,830	0,591
1	0,3	5,808	20,01	6,022	0,301
2	0,4	3,337	20,01	2,685	0,134
3	0,6	0,954	20,01	1,731	0,087
6	0,8	0,316	20,01	1,415	0,071
9	1,1	0,005	20,01	1,410	0,071
12	1,4	0,003	20,01	1,407	0,070
15	1,6	0,006	20,01	1,401	0,070

Tabela D21: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,5	2,648	8,51	5,862	0,689
1	0,7	1,095	8,51	4,767	0,560
2	1,0	0,653	8,51	4,114	0,483
3	1,2	0,356	8,51	3,758	0,442
6	1,6	1,304	8,51	2,454	0,288
9	2,0	0,256	8,51	2,198	0,258
12	2,4	0,129	8,51	2,069	0,243
15	2,8	0,027	8,51	2,042	0,240

Tabela D22: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,5	4,306	12,37	8,064	0,652
1	0,7	2,727	12,37	5,337	0,431
2	1,1	1,462	12,37	3,875	0,313
3	1,3	0,209	12,37	3,666	0,296
6	1,7	1,440	12,37	2,226	0,180
9	2,0	0,105	12,37	2,121	0,172
12	2,3	0,029	12,37	2,092	0,169
15	2,7	0,019	12,37	2,073	0,168

Tabela D23: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,5	5,723	14,79	9,067	0,613
1	0,7	3,134	14,79	5,933	0,401
2	1,0	1,485	14,79	4,448	0,301
3	1,2	0,894	14,79	3,554	0,240
6	1,6	1,558	14,79	1,996	0,135
9	2,1	0,050	14,79	1,946	0,132
12	2,3	0,034	14,79	1,912	0,129
15	2,7	0,038	14,79	1,874	0,127

Tabela D24: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,5	7,110	15,52	8,410	0,542
1	0,8	2,333	15,52	6,077	0,392
2	1,1	1,007	15,52	5,070	0,327
3	1,3	1,033	15,52	4,037	0,260
6	1,6	2,283	15,52	1,754	0,113
9	2,0	0,254	15,52	1,500	0,097
12	2,3	0,067	15,52	1,433	0,092
15	2,7	0,005	15,52	1,428	0,092

Tabela D25: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,5	4,768	19,93	10,500	0,527
1	0,7	4,698	19,93	5,694	0,286
2	1,1	4,689	19,93	2,454	0,123
3	1,4	4,677	19,93	1,489	0,075
6	1,6	4,699	19,93	1,153	0,058
9	2,0	4,738	19,93	1,145	0,057
12	2,3	4,687	19,93	1,132	0,057
15	2,8	4,690	19,93	1,117	0,056

Tabela D26: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,7	5,558	15,69	10,132	0,646
1	1,0	3,407	15,69	6,725	0,429
2	1,1	1,374	15,69	5,351	0,341
3	1,2	1,084	15,69	4,267	0,272
6	1,4	1,882	15,69	2,385	0,152
9	1,7	0,051	15,69	2,334	0,149
12	2,0	0,034	15,69	2,300	0,147
15	2,4	0,018	15,69	2,282	0,145

Tabela D27: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,9	10,133	19,24	9,108	0,473
1	1,0	2,069	19,24	7,039	0,366
2	1,1	1,863	19,24	5,176	0,269
3	1,2	1,224	19,24	3,952	0,205
6	1,4	1,477	19,24	2,475	0,129
9	1,8	0,043	19,24	2,432	0,126
12	2,1	0,007	19,24	2,425	0,126
15	2,5	0,008	19,24	2,417	0,125

Tabela D28: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,8	12,791	20,68	7,889	0,382
1	0,9	2,907	20,68	4,982	0,241
2	1,0	1,414	20,68	3,568	0,173
3	1,1	1,487	20,68	2,081	0,101
6	1,4	0,521	20,68	1,560	0,075
9	1,7	0,037	20,68	1,523	0,074
12	2,0	0,018	20,68	1,505	0,073
15	2,3	0,010	20,68	1,495	0,072

Tabela D29: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,8	20,834	26,20	5,366	0,205
1	0,9	2,441	26,20	2,925	0,112
2	1,0	0,627	26,20	2,298	0,088
3	1,2	0,329	26,20	1,969	0,075
6	1,5	0,698	26,20	1,271	0,049
9	1,8	0,078	26,20	1,193	0,046
12	2,2	0,129	26,20	1,064	0,041
15	2,5	0,104	26,20	0,960	0,037

Tabela D30: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de poliéster

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	0,8	23,470	29,25	5,780	0,198
1	0,9	1,935	29,25	3,845	0,132
2	1,0	1,660	29,25	2,185	0,075
3	1,3	0,770	29,25	1,415	0,048
6	1,5	0,518	29,25	0,897	0,031
9	1,8	0,080	29,25	0,889	0,030
12	2,1	0,050	29,25	0,839	0,029
15	2,5	0,041	29,25	0,798	0,027

Tabela D31: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,0	2,667	8,96	6,293	0,702
1	1,4	0,730	8,96	5,563	0,621
2	2,0	0,784	8,96	4,779	0,533
3	2,7	0,536	8,96	4,243	0,474
6	3,4	1,782	8,96	2,461	0,275
9	4,0	0,229	8,96	2,232	0,249
12	4,4	0,181	8,96	2,051	0,229
15	5,2	0,182	8,96	1,869	0,209

Tabela D32: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,1	4,869	12,95	8,081	0,624
1	1,4	1,516	12,95	6,565	0,507
2	1,9	1,230	12,95	5,335	0,412
3	2,7	1,002	12,95	4,333	0,335
6	3,5	1,659	12,95	2,674	0,207
9	4,1	0,115	12,95	2,559	0,198
12	4,4	0,208	12,95	2,351	0,182
15	5,3	0,207	12,95	2,144	0,166

Tabela D33: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,0	6,374	14,67	8,296	0,566
1	1,4	3,073	14,67	5,223	0,356
2	2,0	1,442	14,67	3,781	0,258
3	2,6	1,076	14,67	2,705	0,184
6	3,4	0,501	14,67	2,204	0,150
9	4,0	0,061	14,67	2,143	0,146
12	4,5	0,048	14,67	2,095	0,143
15	5,3	0,083	14,67	2,012	0,137

Tabela D34: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,0	7,957	16,48	8,523	0,517
1	1,3	3,629	16,48	4,894	0,297
2	1,9	1,001	16,48	3,893	0,236
3	2,7	0,642	16,48	3,251	0,197
6	3,5	1,251	16,48	2,000	0,121
9	4,1	0,219	16,48	1,781	0,108
12	4,4	0,069	16,48	1,712	0,104
15	5,2	0,216	16,48	1,496	0,091

Tabela D35: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,1	9,458	19,26	9,802	0,509
1	1,4	4,466	19,26	5,336	0,277
2	2,0	1,699	19,26	3,637	0,189
3	2,7	1,051	19,26	2,586	0,134
6	3,4	1,415	19,26	1,171	0,061
9	4,1	0,038	19,26	1,133	0,059
12	4,5	0,185	19,26	0,948	0,049
15	5,2	0,053	19,26	0,895	0,047

Tabela D36: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	2,819	9,36	6,541	0,699
1	2,0	1,229	9,36	5,312	0,568
2	3,1	0,638	9,36	4,674	0,499
3	4,1	0,674	9,36	4,000	0,427
6	5,7	1,414	9,36	2,586	0,276
9	6,6	0,251	9,36	2,335	0,249
12	7,8	0,161	9,36	2,174	0,232
15	9,2	0,132	9,36	2,042	0,218

Tabela D37: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	5,048	12,67	7,622	0,602
1	2,1	1,688	12,67	5,934	0,468
2	3,1	1,100	12,67	4,834	0,382
3	4,2	0,506	12,67	4,328	0,342
6	5,7	1,646	12,67	2,682	0,212
9	6,7	0,200	12,67	2,482	0,196
12	7,7	0,155	12,67	2,327	0,184
15	9,1	0,082	12,67	2,245	0,177

Tabela D38: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	6,963	14,81	7,847	0,529
1	2,2	2,191	14,81	5,656	0,382
2	3,1	1,238	14,81	4,418	0,293
3	4,2	0,259	14,81	4,159	0,281
6	5,6	1,866	14,81	2,293	0,155
9	6,7	0,011	14,81	2,282	0,154
12	7,7	0,035	14,81	2,247	0,152
15	9,2	0,086	14,81	2,161	0,146

Tabela D39: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,6	8,010	16,28	8,270	0,508
1	2,2	2,769	16,28	5,501	0,338
2	3,2	1,667	16,28	3,834	0,236
3	4,2	0,728	16,28	3,106	0,191
6	5,7	1,474	16,28	1,632	0,100
9	6,6	0,136	16,28	1,496	0,092
12	7,8	0,023	16,28	1,473	0,091
15	9,1	0,023	16,28	1,450	0,089

Tabela D40: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	1,5	10,061	19,92	9,859	0,495
1	2,1	3,055	19,92	6,804	0,342
2	3,2	2,258	19,92	4,546	0,228
3	4,2	0,718	19,92	3,828	0,192
6	5,7	2,212	19,92	1,616	0,081
9	6,7	0,113	19,92	1,503	0,076
12	7,8	0,064	19,92	1,439	0,722
15	9,2	0,065	19,92	1,374	0,069

Tabela D41: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 10 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,4	2,758	8,96	6,202	0,692
1	3,3	1,441	8,96	4,761	0,531
2	4,2	0,577	8,96	4,184	0,467
3	5,4	0,241	8,96	3,943	0,441
6	7,9	1,372	8,96	2,571	0,287
9	9,3	0,527	8,96	2,044	0,228
12	12,4	0,117	8,96	1,927	0,215
15	15,7	0,039	8,96	1,888	0,211

Tabela D42: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 12,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,4	4,838	13,37	8,532	0,638
1	3,2	1,670	13,37	6,862	0,513
2	4,3	1,644	13,37	5,218	0,390
3	5,4	0,662	13,37	4,556	0,341
6	7,9	1,878	13,37	2,678	0,200
9	9,2	0,439	13,37	2,239	0,168
12	12,5	0,025	13,37	2,214	0,166
15	15,6	0,028	13,37	2,186	0,164

Tabela D43: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 15 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,4	6,274	15,24	8,966	0,588
1	3,3	2,566	15,24	6,400	0,419
2	4,4	1,083	15,24	5,317	0,349
3	5,3	0,571	15,24	4,746	0,311
6	7,8	2,372	15,24	2,374	0,156
9	9,2	0,233	15,24	2,141	0,141
12	12,4	0,003	15,24	2,138	0,140
15	15,8	0,003	15,24	2,135	0,140

Tabela D44: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F=10\text{cm/s}$ e tempo de filtração de 17,5 min, no tecido de polipropileno

$V_L(\text{cm/s})$	$\Delta P(\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d(\text{g})$	$M_T(\text{g})$	$M_r(\text{g})$	γ
0,5	2,4	8,313	17,5	9,187	0,525
1	3,2	2,717	17,5	6,470	0,369
2	4,4	1,984	17,5	4,486	0,256
3	5,4	0,716	17,5	3,770	0,215
6	7,9	1,982	17,5	1,788	0,102
9	9,2	0,115	17,5	1,673	0,096
12	12,5	0,016	17,5	1,657	0,095
15	15,7	0,017	17,5	1,640	0,094

Tabela D45: Dados de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10 \text{ cm/s}$ e tempo de filtração de 20 min, no tecido de polipropileno

$V_L (\text{cm/s})$	$\Delta P (\text{cmH}_2\text{O})$	$M_d (\text{g})$	$M_T (\text{g})$	$M_r (\text{g})$	γ
0,5	2,4	9,938	19,93	9,992	0,501
1	3,3	3,440	19,93	6,552	0,329
2	4,3	1,139	19,93	5,413	0,272
3	5,4	0,777	19,93	4,636	0,233
6	7,8	2,785	19,93	1,851	0,093
9	9,2	0,324	19,93	1,527	0,077
12	12,4	0,105	19,93	1,422	0,071
15	15,9	0,106	19,93	1,316	0,066

Anexo E

Curvas de filtração para a rocha fosfática

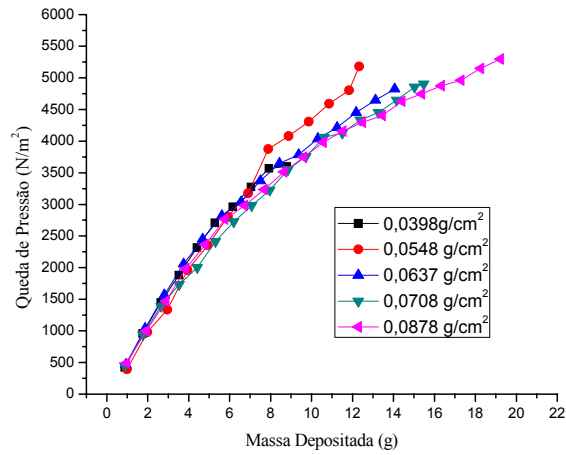


Figura E.1: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster

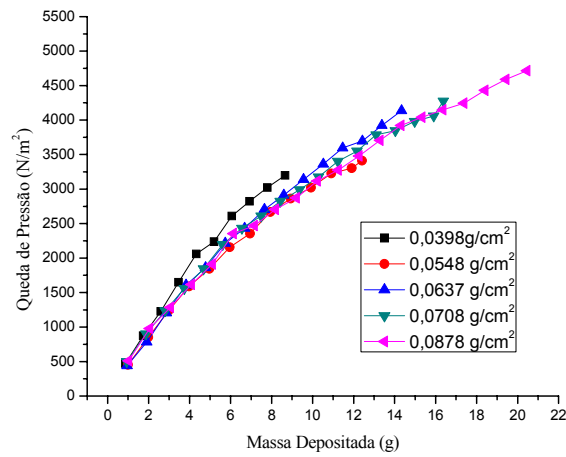


Figura E.2: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster

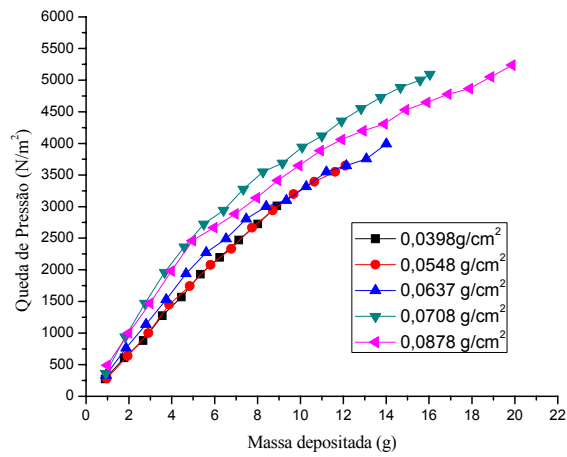


Figura E.3: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico

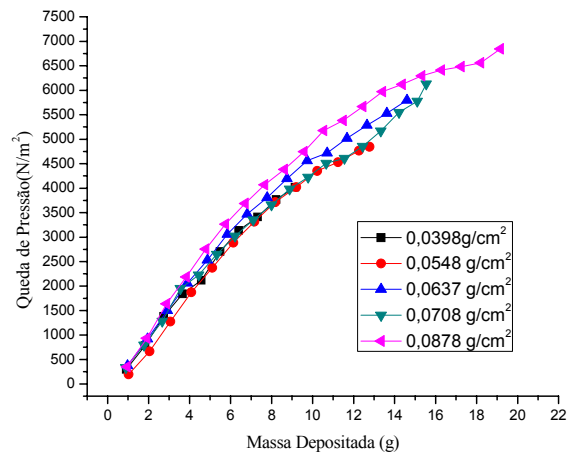


Figura E.4: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico

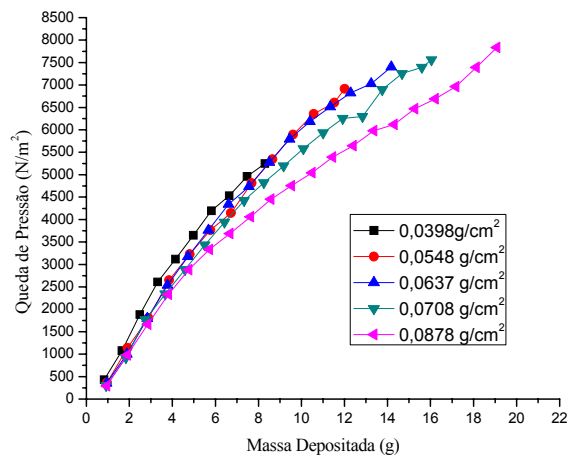


Figura E.5: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico

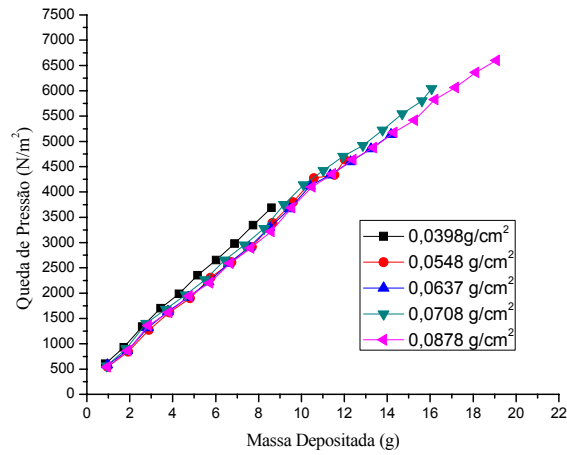


Figura E.6: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de polipropileno

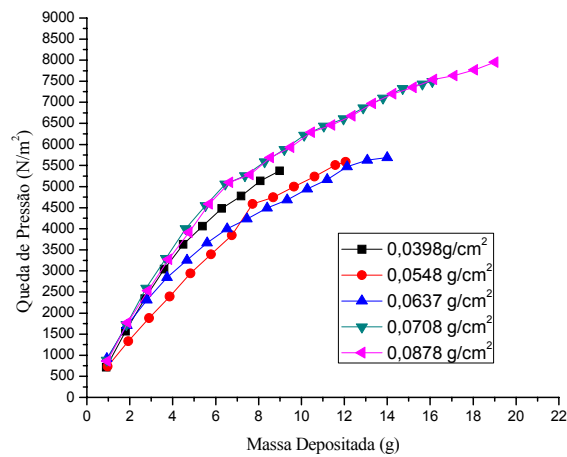


Figura E.7: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno

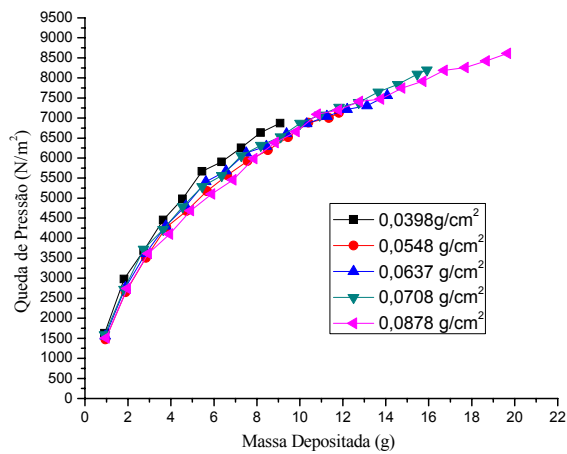


Figura E.8: Queda de pressão em função da massa depositada para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno

Anexo F

Curvas de filtração para o polvilho doce

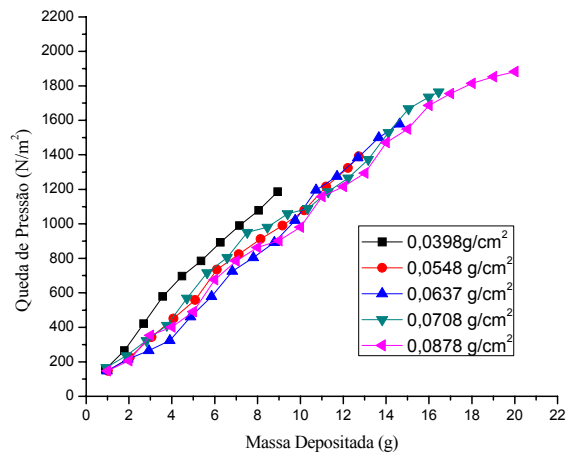


Figura F.1: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster

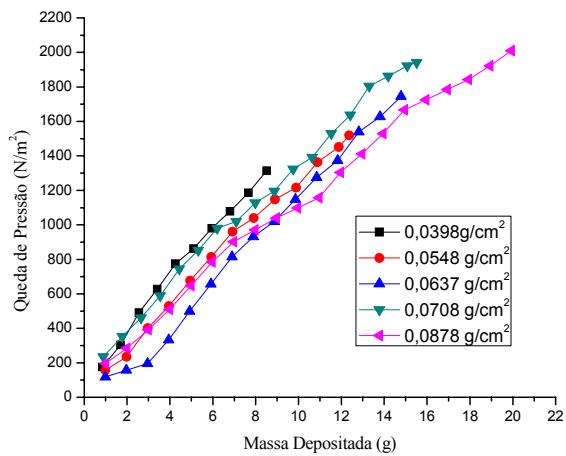


Figura F.2: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de poliéster

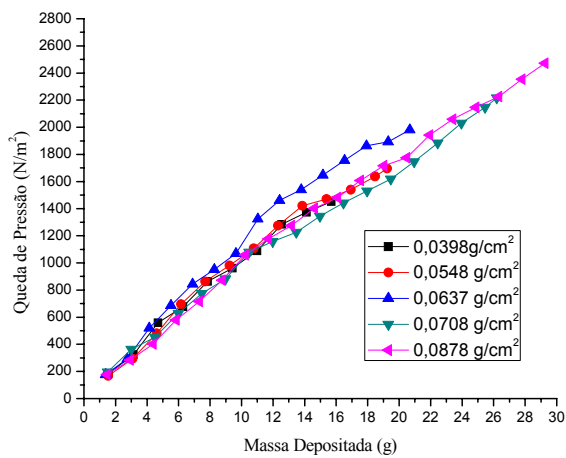


Figura F.3: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de poliéster

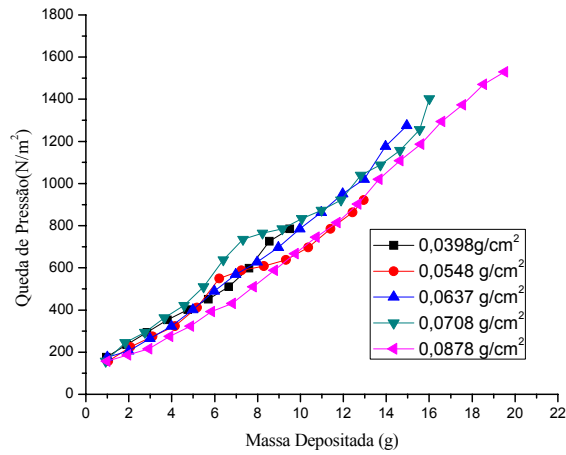


Figura F.4: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de acrílico

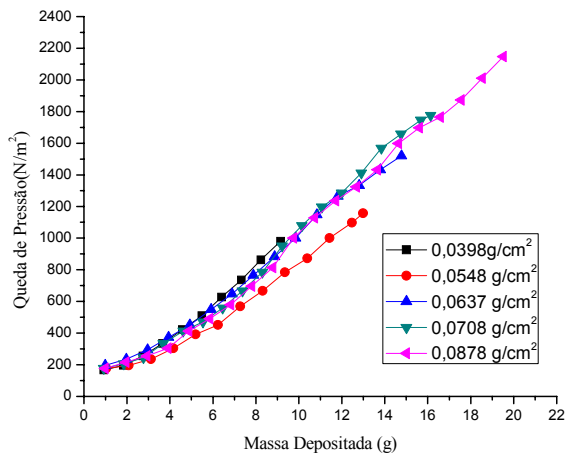


Figura F.5: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de acrílico

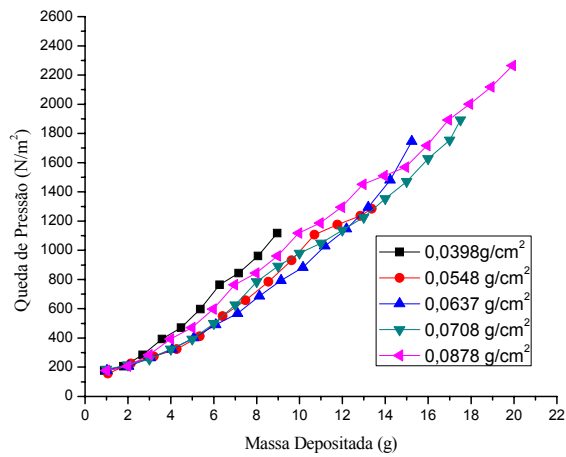


Figura F.6: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico

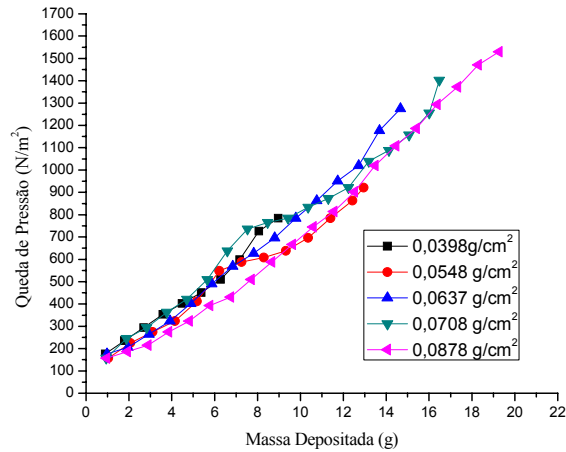


Figura F.7: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de polipropileno

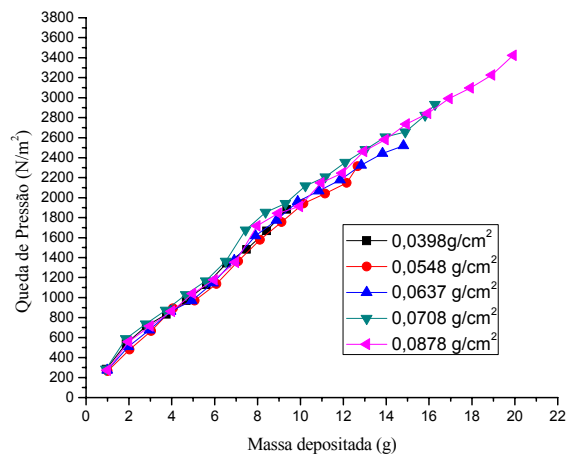


Figura F.8: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno

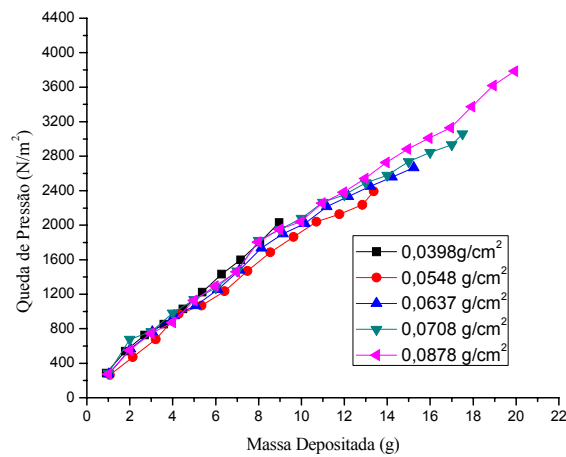


Figura F.9: Queda de pressão em função da massa depositada para o polvilho doce com $V_F=10$ cm/s no tecido de polipropileno

Anexo G

Curvas para a estimativa da tensão de remoção para a rocha fosfática

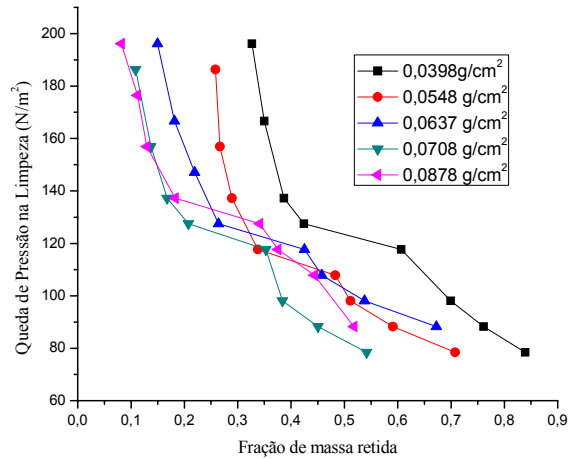


Figura G.1: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster

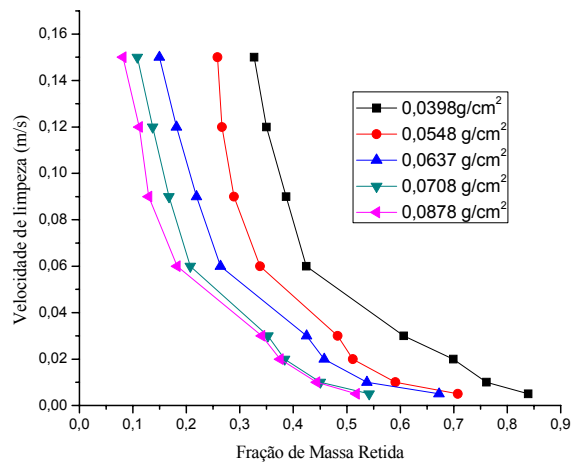


Figura G.2: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster

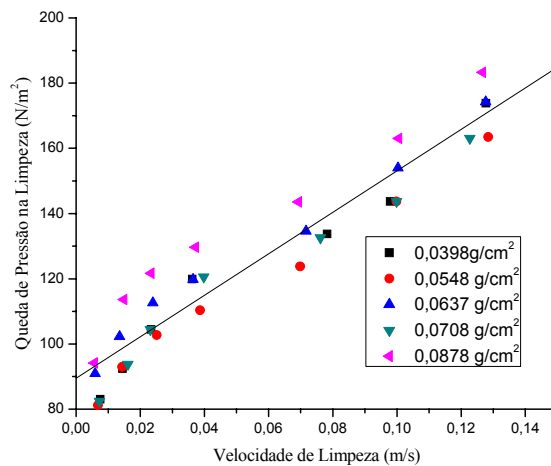


Figura G.3: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster

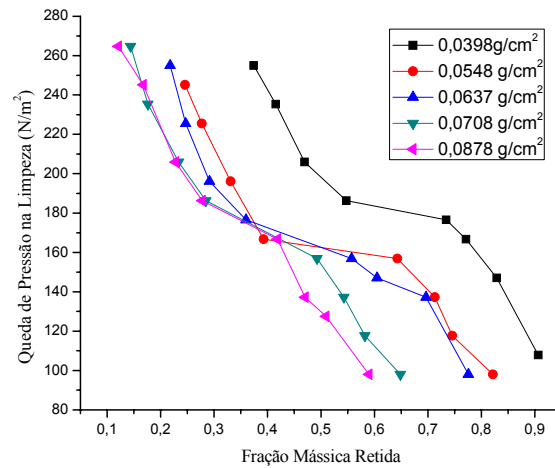


Figura G.4: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de poliéster

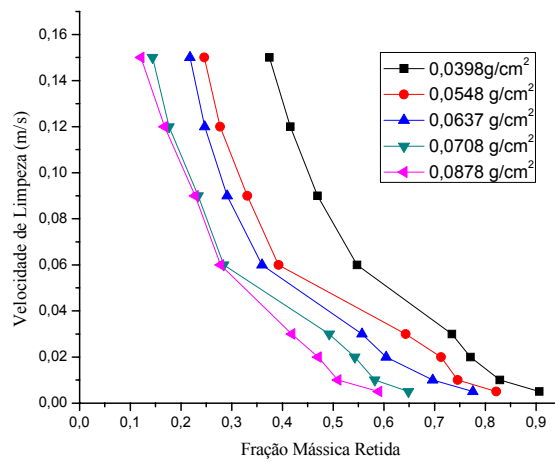


Figura G.5: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de poliéster

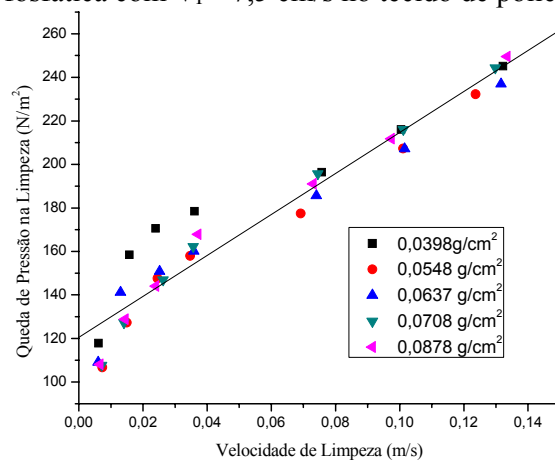


Figura G.6: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de poliéster

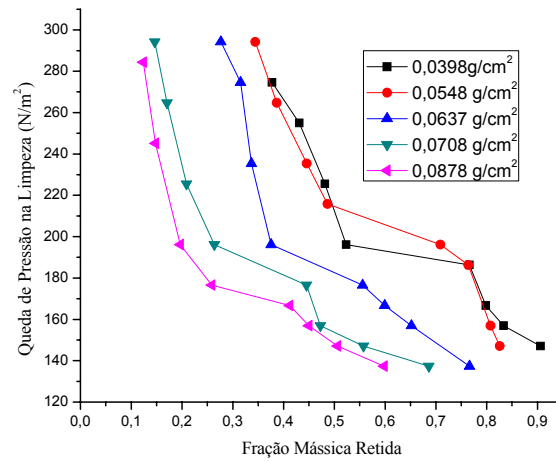


Figura G.7: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 10$ cm/s no tecido de poliéster

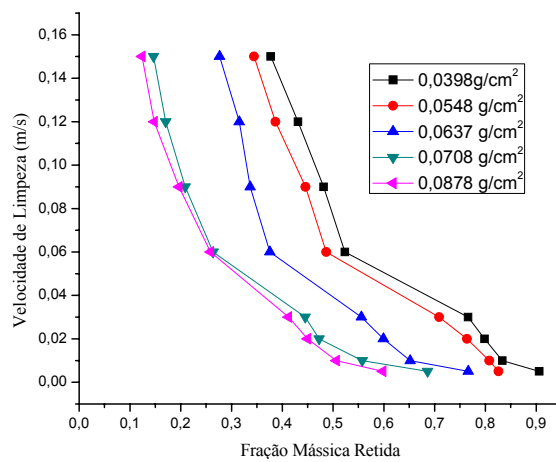


Figura G.8: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 10$ cm/s no tecido de poliéster

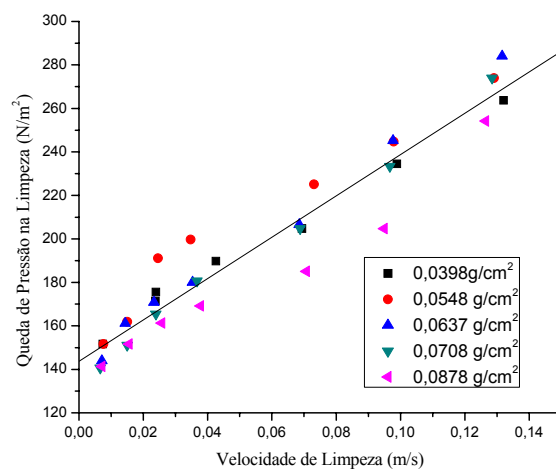


Figura G.9: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10$ cm/s no tecido de poliéster

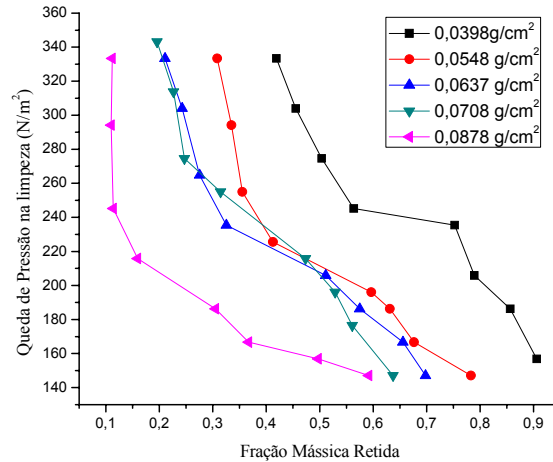


Figura G.10: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 5$ cm/s no tecido de acrílico

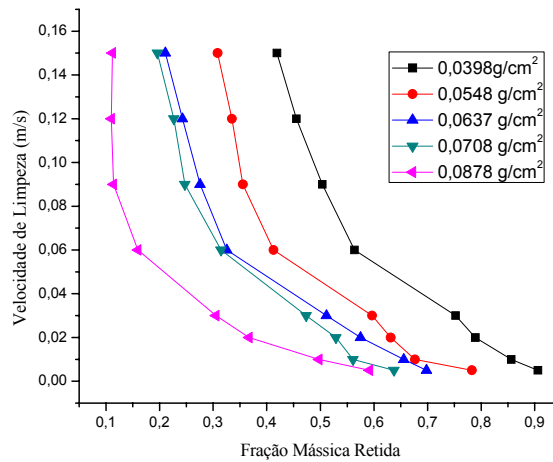


Figura G.11: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 5$ cm/s no tecido de acrílico

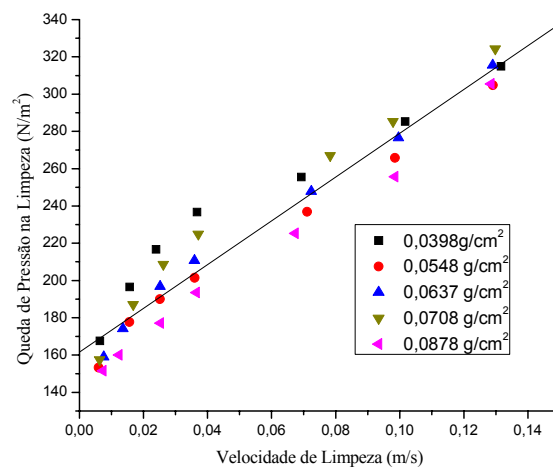


Figura G.12: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 5$ cm/s no tecido de acrílico

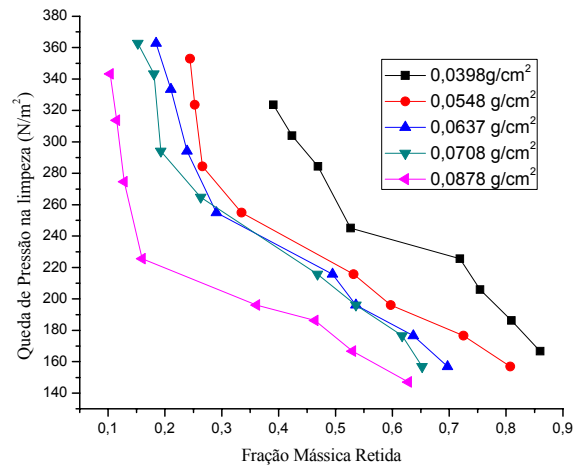


Figura G.13: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de acrílico

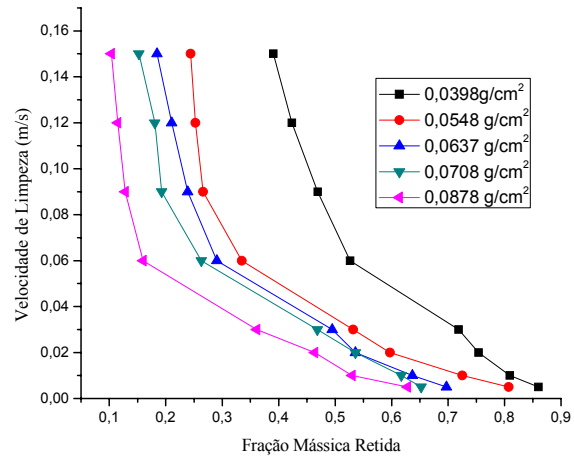


Figura G.14: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de acrílico

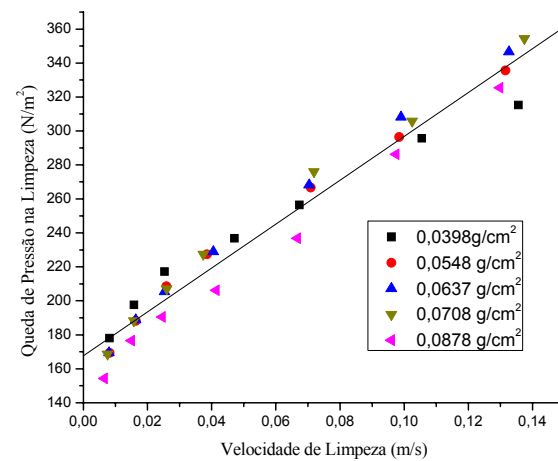


Figura G.15: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de acrílico

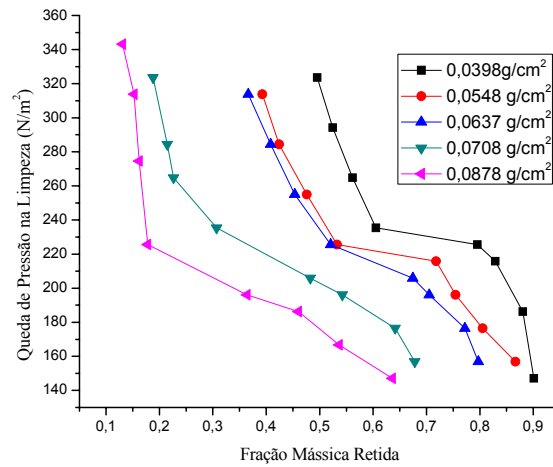


Figura G.16: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico

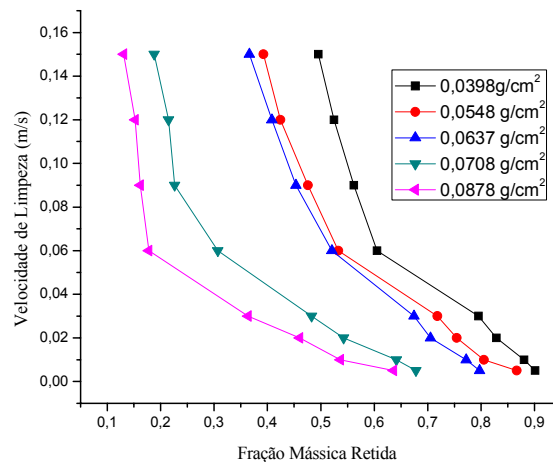


Figura G.17: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico

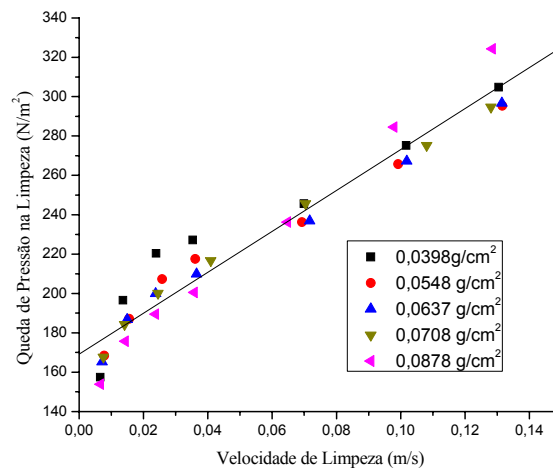


Figura G.18: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F=10$ cm/s no tecido de acrílico

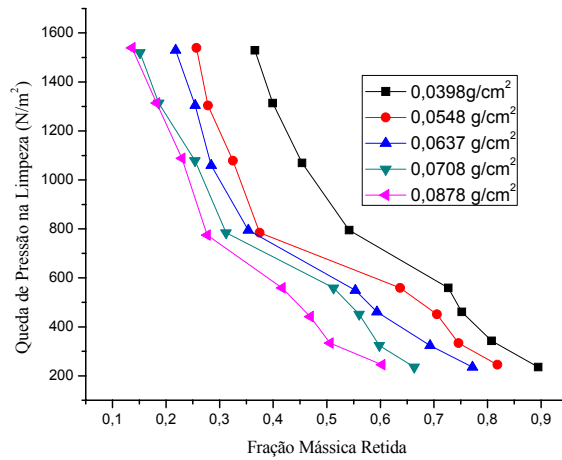


Figura G.19: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de polipropileno

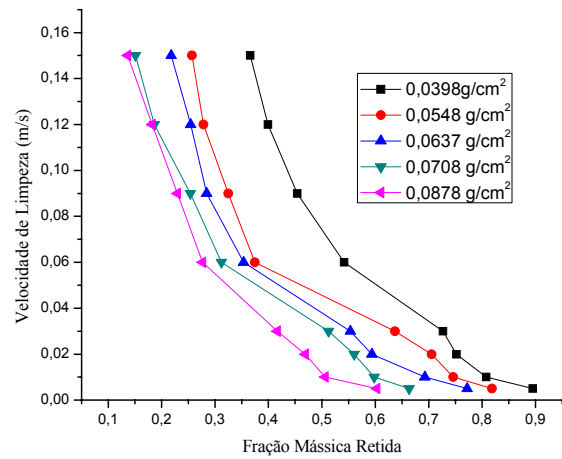


Figura G.20: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de polipropileno

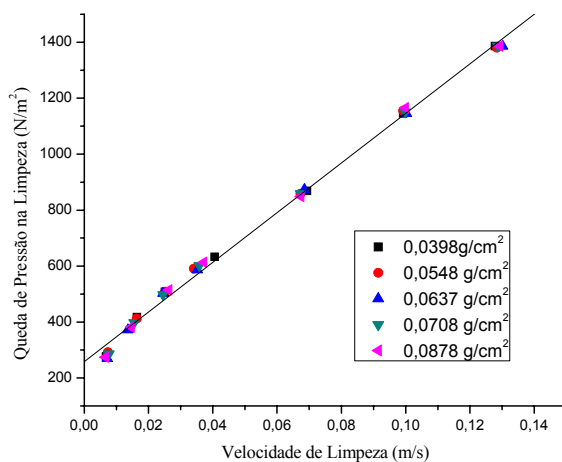


Figura G.21: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de polipropileno

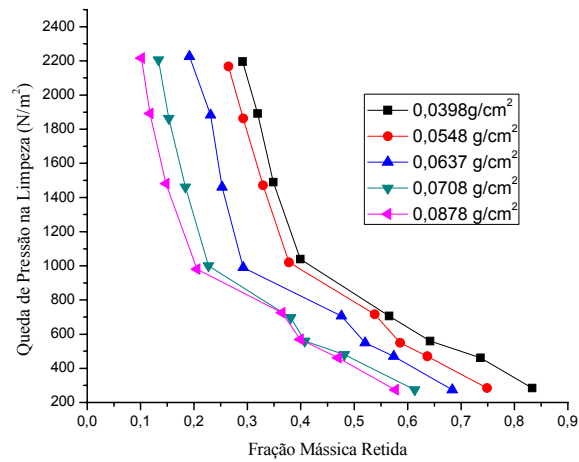


Figura G.22: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno

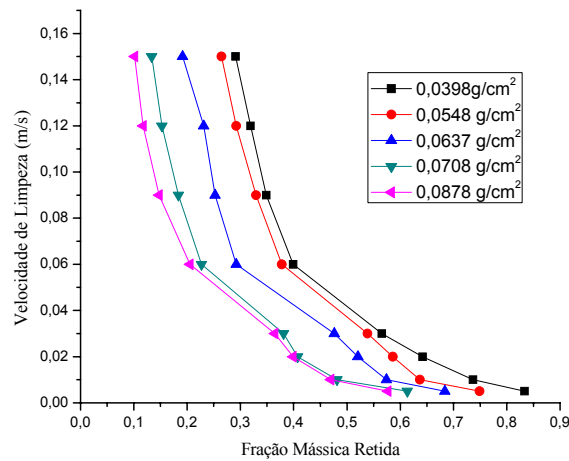


Figura G.23: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para a rocha fosfática com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno

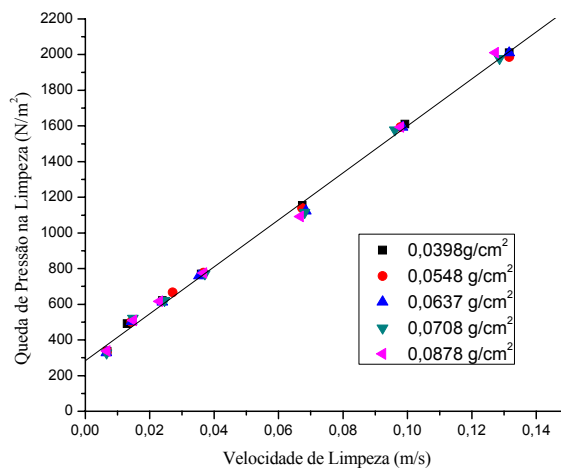


Figura G.24: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para a rocha fosfática com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno

Anexo H

Curvas para a estimativa da tensão de remoção para o polvilho doce

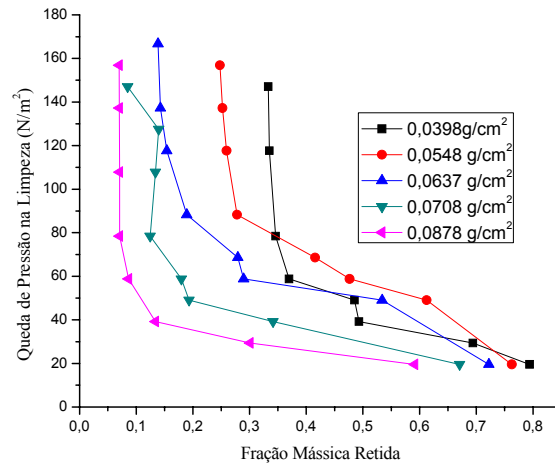


Figura H.1: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster

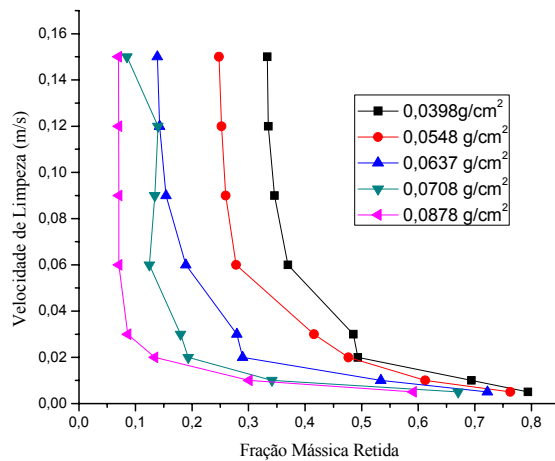


Figura H.2: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster

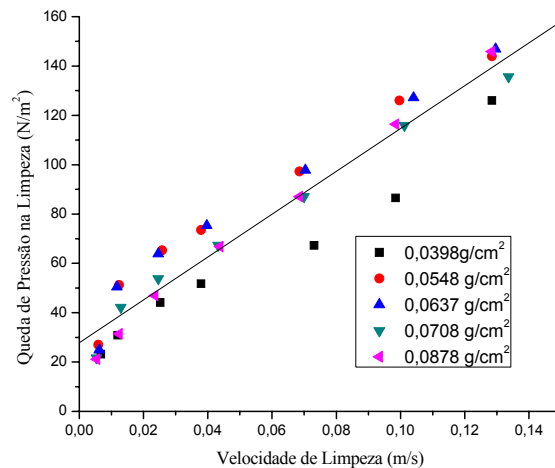


Figura H.3: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=5$ cm/s no tecido de poliéster

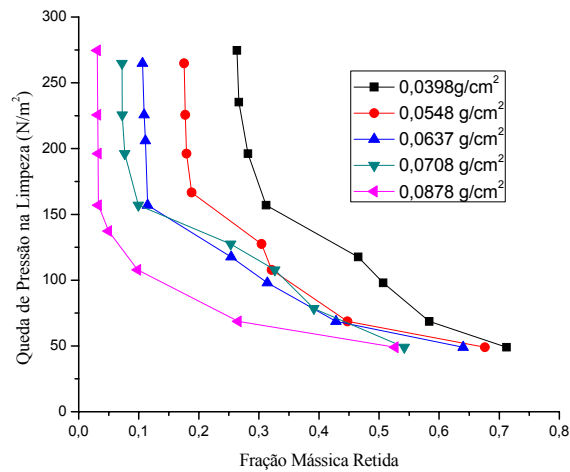


Figura H.4: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de poliéster

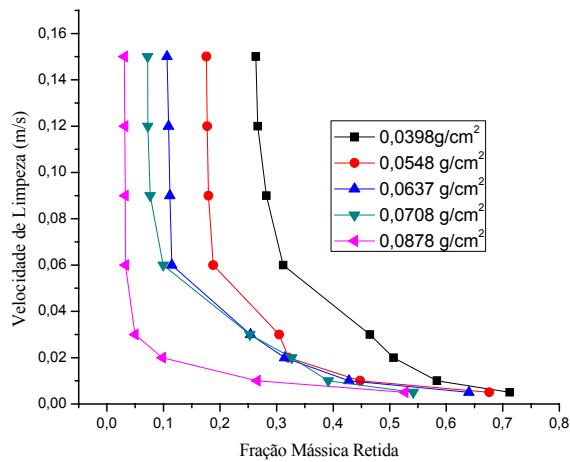


Figura H.5: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de poliéster

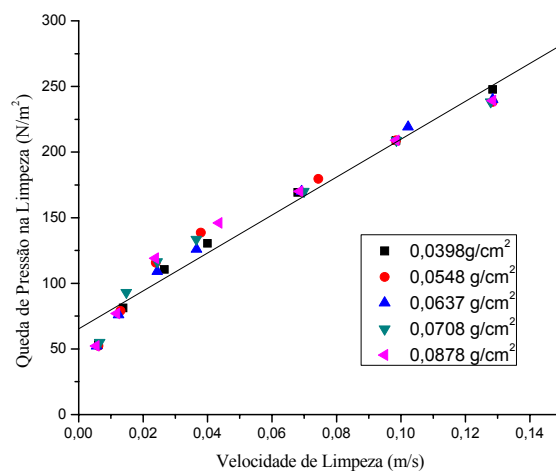


Figura H.6: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de poliéster

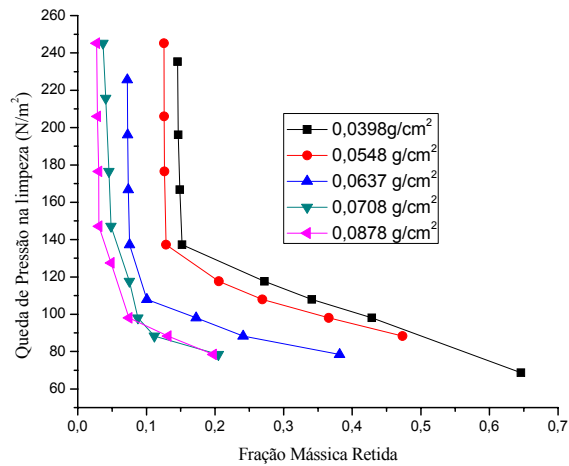


Figura H.7: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de poliéster

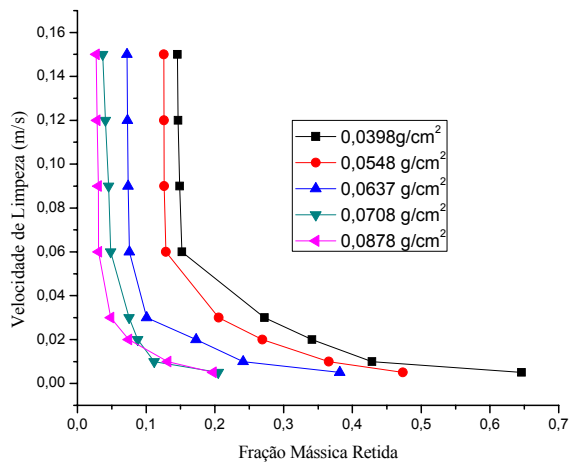


Figura H.8: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de poliéster

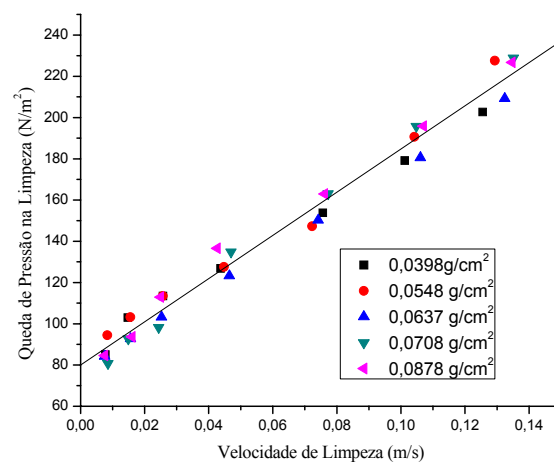


Figura H.9: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de poliéster

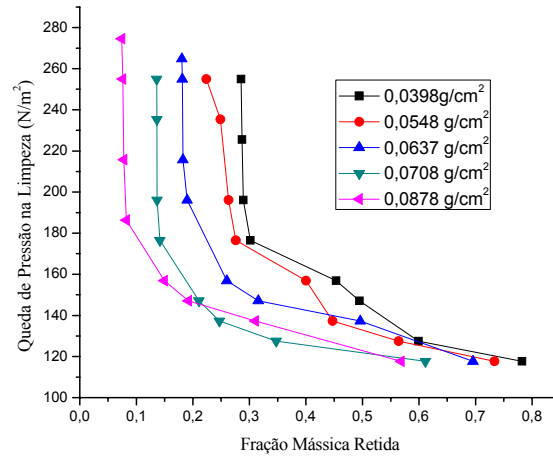


Figura H.10: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 5$ cm/s no tecido de acrílico

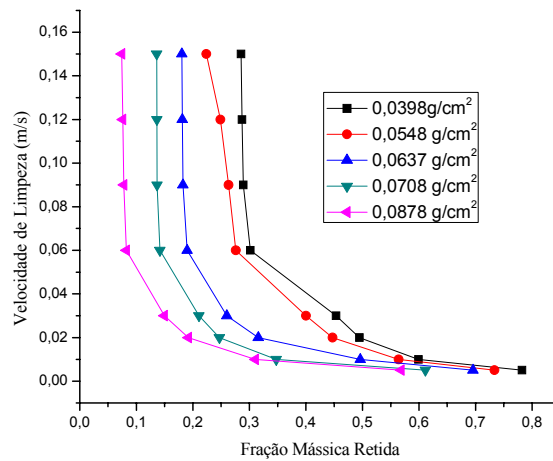


Figura H.11: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 5$ cm/s no tecido de acrílico

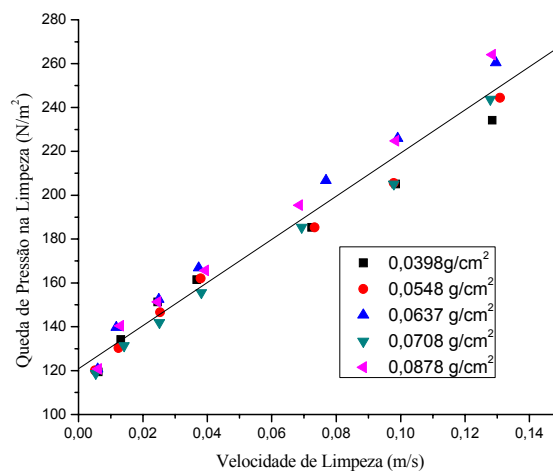


Figura H.12: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5$ cm/s no tecido de acrílico

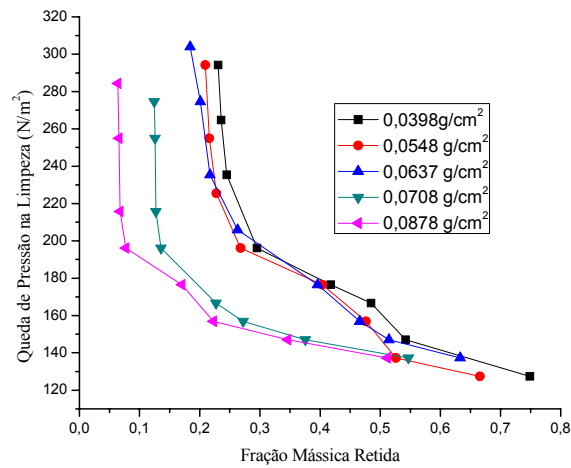


Figura H.13: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de acrílico

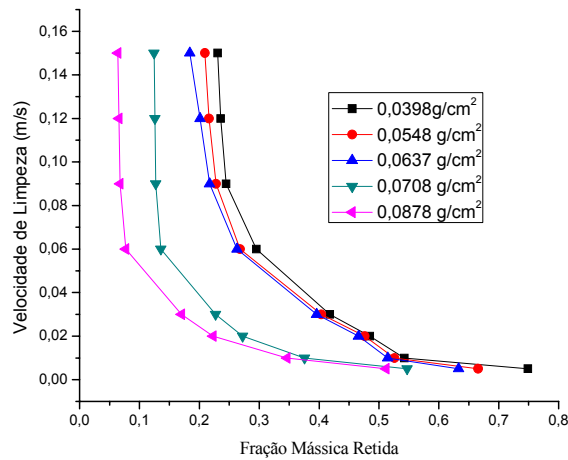


Figura H.14: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de acrílico

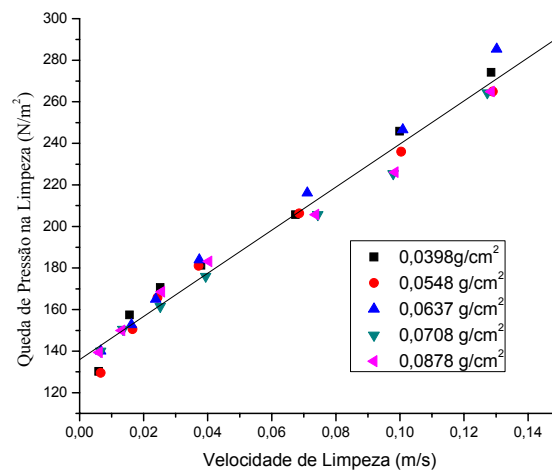


Figura H.15: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 7,5$ cm/s no tecido de acrílico

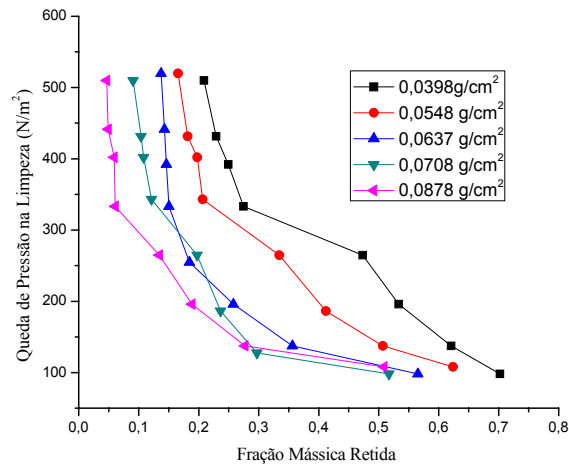


Figura H.16: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 5$ cm/s no tecido de polipropileno

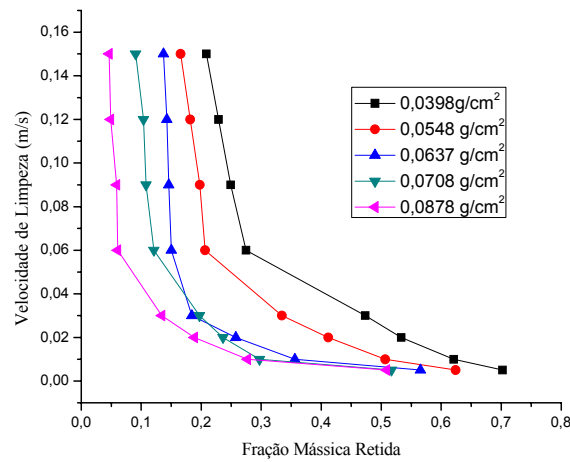


Figura H.17: Velocidade de limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 5$ cm/s no tecido de polipropileno

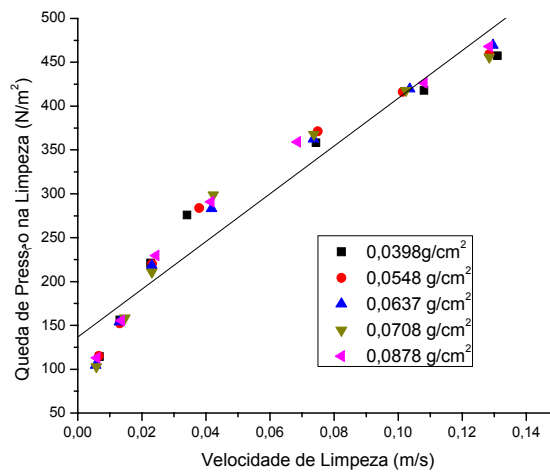


Figura H.18: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 5$ cm/s no tecido de polipropileno

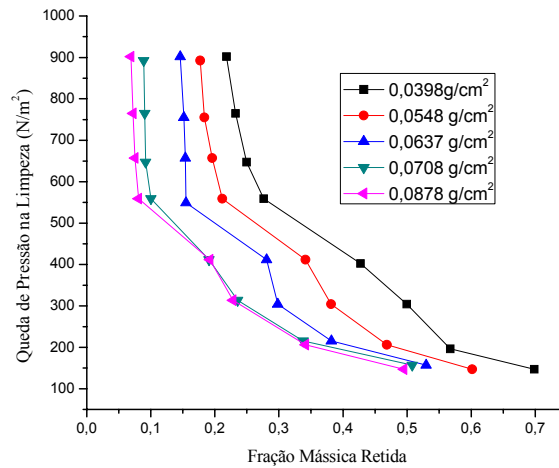


Figura H.19: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno

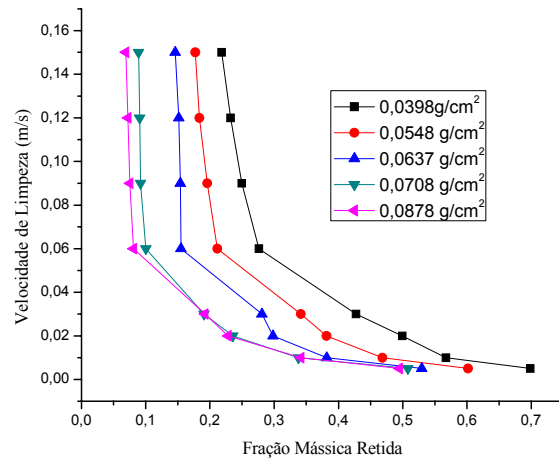


Figura H.20: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno

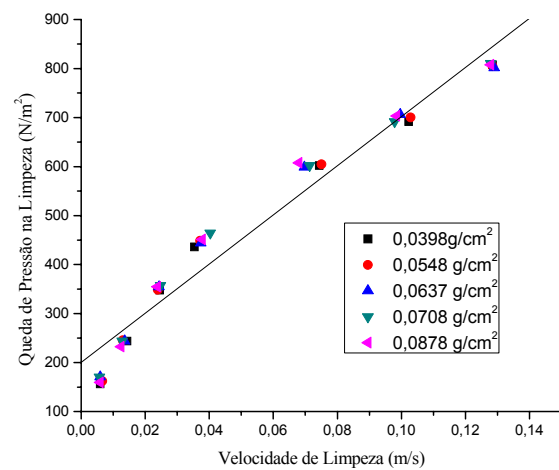


Figura H.21: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F=7,5$ cm/s no tecido de polipropileno

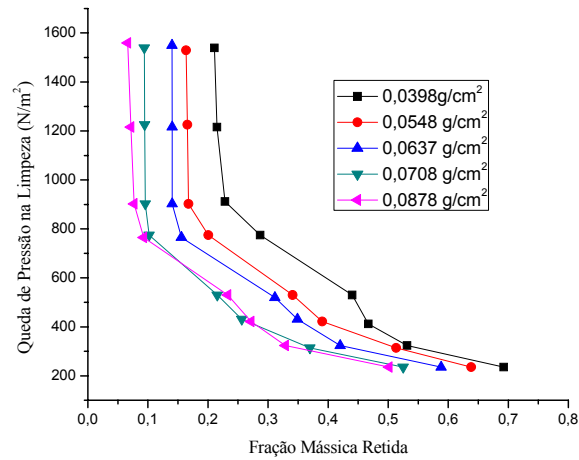


Figura H.22: Queda de pressão na limpeza em função da fração mássica retida para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno

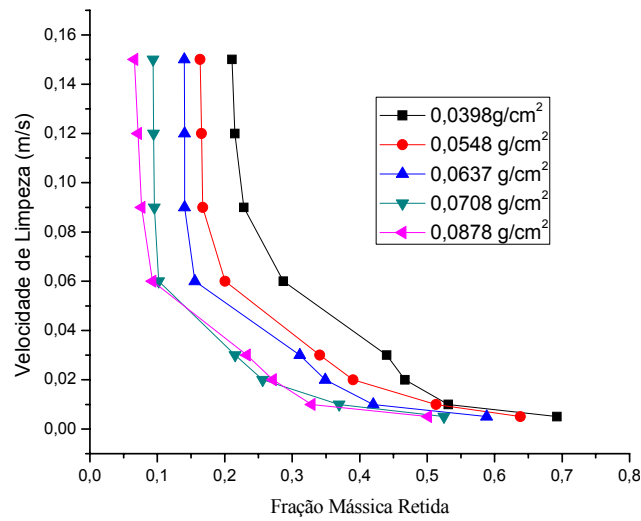


Figura H.23: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno

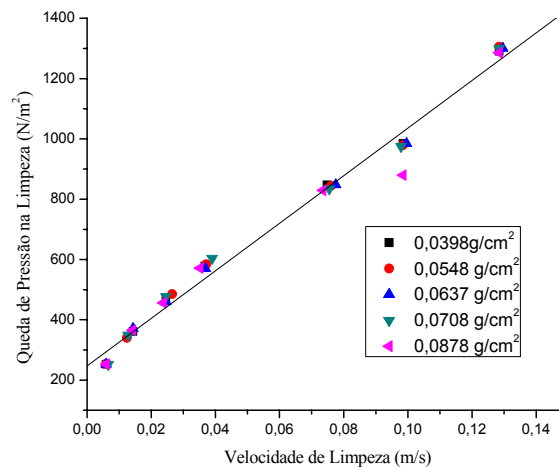


Figura H.24: Queda de pressão na limpeza em função da velocidade de limpeza para o polvilho doce com $V_F = 10$ cm/s no tecido de polipropileno