

# **PROJETO DE PESQUISA**

## **ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS MEIOS FILTRANTES DURANTE A FILTRAÇÃO DO GÁS NATURAL – CARACTERIZAÇÃO DO MEIO ADEQUADO TÉCNICA E ECONOMICAMENTE**

**Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Dra. Mônica Lopes de Aguiar  
Departamento de Engenharia Química  
Laboratório de Controle Ambiental**

**GTS  
Engº. Sergio Geissler Prince  
Gas Supply**

**2004**

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	1
<b>RESUMO</b> .....	2
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	3
<b>2 .JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS</b> .....	7
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	7
<b>4 RESULTADOS ESPERADOS</b> .....	11
<b>5 CRONOGRAMA</b> .....	11
<b>6 EQUIPE DE TRABALHO</b> .....	11
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	12
<b>BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR</b> .....	12

## RESUMO

A principal missão de um trabalho de pesquisa é atingir Resultados que sejam Aplicáveis e ainda, Publicáveis.

Se for considerado que a Comgas consome anualmente um universo de 1.000 Elementos Filtrantes, sendo estes do tipo Cesto Metálico, a representação da monta pode se aproximar de R\$200.000,00, sem contar o custo operacional de seu tratamento e lavagem. Se estes mesmos Elementos fossem do tipo Cartucho descartável este valor poderia ser reduzido com certeza para mais da sua metade, ou seja, um ganho de no mínimo R\$150.000,00 por ano.

Portanto, o objeto do trabalho aqui proposto é ensaiar a norma alemã VDI 3926, que trata de estudar os Meios Filtrantes Laváveis através de ensaios de sua Reutilização, além de conhecer por outros modos, a natureza detalhada dos contaminantes do Gás Natural, que afligem não só os componentes de linha susceptíveis a avarias, mas também o comportamento dos Meios Filtrantes dos Filtros, que em princípio destina-se a reter estes contaminantes.

Os meios filtrantes que serão investigados serão os de inox e os de papel. A célula experimental será constituída por um filtro GTS, um alimentador de gás natural, com vazão controlada, um microcomputador e um sistema para controle e aquisição de dados. Nos procedimentos de filtração serão utilizadas baixas velocidades do gás, mantendo a vazão constante e perda de pressão final de filtração de 7,5mbar (7,5kPa). Serão obtidos vários ciclos de filtração, em diferentes condições operacionais.

Inicialmente, será realizado um estudo detalhado do Gás Natural da Comgas, com o intuito de se conhecer melhor as características físicas e químicas. Posteriormente, serão realizados os ciclos de filtração, para investigar o comportamento dos filtros de papel e de inox. Todas as condições experimentais, durante a filtração e limpeza, para cada meio filtrante, serão mantidas constantes.

Espera-se com esse estudo obter infamações detalhadas sobre os dois meios filtrantes investigados e como resultado selecionar o meio filtrante que obter as melhores condições de filtração. Ou seja, o mais adequado e viável, o mais eficiente na remoção das partículas na faixa respirável, com a perda de carga desejável e aquele com o melhor custo e benefício na sua implantação.

## **INTRODUÇÃO**

Filtração pode ser entendida como separação de fases, de modo que se obtenha a fase desejada livre da fase indesejada, sendo esta última considerada prejudicial ao sistema, por questões de saúde, ambientais e também de segurança operacional.

Para a primeira questão, certamente a mais estudada, pois está intimamente ligada à qualidade de vida humana, tem se alcançado avançadas técnicas que visam a melhoria da qualidade da fase consumida e a conseqüente redução dos custos operacionais dos sistemas utilizados para a Filtração, que por seu lado vêm se sofisticando cada vez mais devido às exigências impostas pela contaminação da matéria bruta. Na segunda questão, pela mesma razão acima indicada, pesquisas estão intensamente sendo desenvolvidas quanto à despoluição do ar que respiramos. Para a terceira, o campo que mais se desenvolve é o automotivo, onde progressivamente tem se disposto de itens altamente susceptíveis à contaminação, por minúscula que seja.

Por outro lado, pouca importância tem se observado dentro do campo da Filtração de fluidos industriais, principalmente quanto à filtração de gases combustíveis, em específico o Gás Natural. Certamente, o motivo deve-se a sua ainda imatura utilização, em virtude da lenta substituição dos combustíveis líquidos derivados de petróleo.

Neste campo, foi então herdada a prática do uso de Filtros com meios filtrantes de fios metálicos, denominados tecidos. Estes meios, por exemplo, já não são mais utilizados pelas demandas de Filtração acima descritas, pois estão completamente obsoletos, pela baixa performance de filtração, alta perda de carga do Sistema, ainda sem contar com o alto custo de manuseio e de aquisição. A razão da baixa eficiência é que estes meios operam com somente um mecanismo de filtração, a chamada Filtração Superficial.

Os meios filtrantes à base de fibras celulósicas e sintéticas, já então adotados pelos campos da Filtração da água e automotivo, começaram ser utilizados também nesse campo, pois operam com inúmeros outros mecanismos de filtração, que agrupados denominam de Filtração de Profundidade, técnica que apresenta alta eficiência para partículas minúsculas, grande área aberta que proporciona baixa perda de carga e, naturalmente, apresenta custo inúmeras vezes menor que os tecidos metálicos.

Os fabricantes de componentes de sistemas de Gás Natural têm, aleatoriamente, recomendado tamanhos máximos de partículas admissíveis aos seus internos, as quais foram convencionadas em 20 micra, entretanto não as vincularam a uma velocidade específica, pois por normas se adotam velocidades máximas específicas para cada trecho do sistema. Por exemplo, pode se ter uma partícula de 3 micra à velocidade máxima admissível causando danos maiores que uma partícula de 20 micra arrastada a uma velocidade que esteja em um valor inferior à máxima estabelecida. Imaginem uma impureza desta magnitude obstruindo um orifício de um Queimador de gás, cujo diâmetro é muitas vezes menor que o tamanho de um alfinete.

Outros componentes de um Sistema de Gás Natural, que são altamente susceptíveis à falha operacional pelo ataque de impurezas: Reguladores de Pressão, que tem por finalidade reduzir pressão a cada estágio de condução do Gás Natural, do transporte (estações "city-gates"), passando pela distribuição (estações industriais ou CRM's) chegando até o consumo final (cavalete de combustão), Dispositivos de Segurança de Sub e Sobre Pressão e finalmente no principal componente do âmbito econômico, que é o Medidor de Vazão (relógio do sistema). Estes medidores se atacados por partículas, terão seus internos erodidos e daí, a perda de precisão, logo perda de faturamento do gás. Os dispositivos auxiliares se tiverem seus internos danificados, comprometerão a segurança operacional do sistema, como por exemplo falhando em uma necessidade de abertura ou fechamento, causando eventualmente incríveis danos na linha à jusante por sub ou sobre-pressão.

Com isto, a Filtração dentro do campo do Gás Natural é hoje mais que uma ação empírica e que um ato de obrigação de se colocar um simples Filtro antes de tais componentes para a proteção de danos, os quais indubitavelmente podem ser incalculáveis. Os avanços propostos no estudo objeto desta pesquisa estão centrados na melhoria dos meios filtrantes, no desenvolvimento de meios filtrantes que sejam resistentes ao fluido filtrado, buscando a eficiência adequada às situações críticas, de modo permitir a expansão da aplicação industrial, residencial, comercial e veicular do Gás Natural, com amplo ênfase na diminuição dos seus custos operacionais.

Raros pesquisadores, para não dizer inexistentes, tiveram a iniciativa de se dedicar a uma pesquisa que estude o processo de Filtração no campo do Gás Natural, combustível hoje de vital importância à fomentação do desenvolvimento sustentável. Muitas respostas não são óbvias, como por que ainda usamos Filtros tipo Cesto se os mesmos são extremamente caros e produzem efluentes que requerem tratamento. Por que normas de países que realmente se preocupam com o meio ambiente só se utilizam hoje de Filtros tipo Cartucho? Se a resposta não é óbvia, nasce então uma pesquisa!

## **2.JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS**

De acordo com a problemática apresentada acima, este trabalho tem como principal objeto estudo é ensaiar a norma alemã VDI 3926, que trata de estudar os Meios Filtrantes Laváveis através de ensaios de sua Reutilização, além de conhecer por outros modos, a natureza detalhada dos contaminantes do Gás Natural, que afligem não só os componentes de linha susceptíveis a avarias, mas também o comportamento dos Meios Filtrantes dos Filtros, que em princípio destina-se a reter estes contaminantes.

Sabe-se que o meio filtrante de inox é caro, mais é lavável, o de papel é mais barato, porém é descartável. No entanto, os dois geram resíduos, o de inox gera um efluente, que deve ser tratado antes de ser descartado, porque existem sérios problemas de poluição dos rios, já o de papel gera resíduos sólidos, que pode ser incinerado, diminuindo o seu volume antes de ser descartado. Esse resíduo, também pode ser tema de um estudo para ser reutilizado em outros processos.

Tanto o papel como o inox, não se tem nenhum estudo que informa, a real eficiência deles, qual o seu tempo de vida durante as operações de filtração, o quanto que é gerado de resíduos, quantos ciclos de filtração e limpeza são necessários, para a lavagem (inox) ou troca (papel) desses meios filtrantes, e, portanto qual deles tem o melhor custo e benefício.

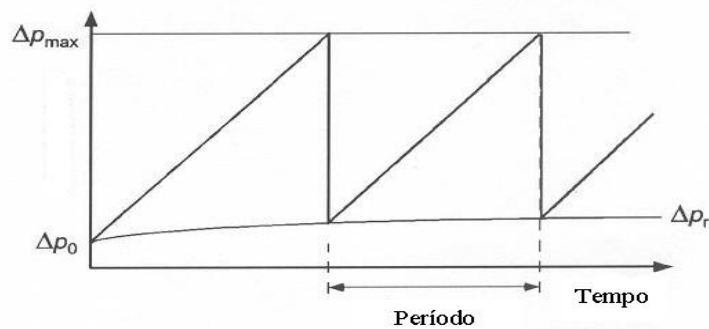
### **3). PRINCÍPIOS DA FILTRAÇÃO**

Na realização de testes com meios filtrantes, não são suficientes conhecer apenas o custo, os dados técnicos e o comportamento conforme o tempo na sua utilização. Devido a isso, pesquisas estão sendo realizadas para melhorar o método de caracterização e a avaliação de um meio filtrante lavável (Norma VDI3926).

O princípio básico da filtração consiste em o filtro ser colocado na horizontal e através dele passar uma corrente de gás sujo, carregado de partículas, o meio filtrante segura as partículas na sua parte superior, ou seja, na sua superfície, ou dependendo do meio filtrante as partículas penetram nas fibras do meio formando uma fina camada de na sua superfície, formando a chamada torta de filtração de gases. Com a formação da torta de filtração de gases ocorre também o aumento da perda de carga do sistema. Dessa forma a torta deve ser removida periodicamente. Essa perda de carga aumenta até alcançar uma perda de carga máxima de aproximadamente 1kPa. Essa limpeza pode ocorrer utilizando vários processos de remoção, como vibração mecânica, fluxo de ar reverso e o mais utilizado por pulso de ar reverso, em que o gás a alta pressão passa no sentido oposto ao da filtração. A pressão cai para uma pressão bem menor, chamada de perda de carga residual. Reinicia-se a filtração, agora a partir dessa perda de pressão residual, devido às partículas de pó que ficaram retidas no meio filtrante e que não foram removidas após a limpeza dos meios filtrantes (Norma VDI3926).

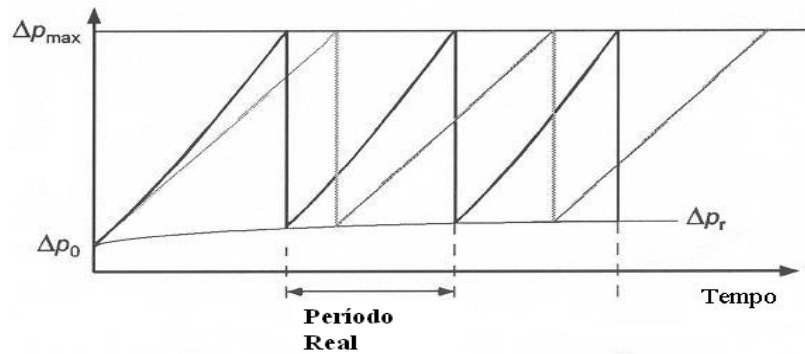


A Figura 3.1 mostra o comportamento ideal de ciclos de filtração, durante um período linear. Observa-se nessa figura que o tempo de filtração é o mesmo, para todos os ciclos. Ou seja, a formação de uma torta estável, a mesma quantidade de limpeza pela mesma quantidade de volume filtrado. Na prática esse comportamento, para qualquer processo, não é observado.



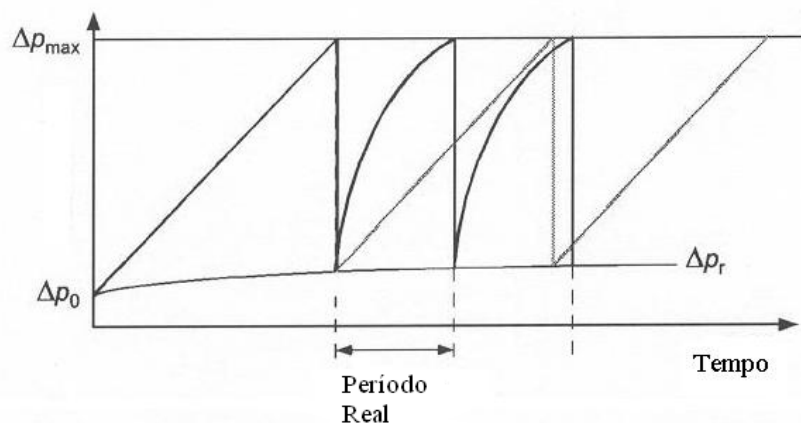
**Figura 3.1-** Ciclos de filtração ideais (Norma VDI3926, 2003)

O comportamento real dos ciclos de filtração pode ser visualizado na Figura 3.2. Nota-se, nessa figura, que na prática ocorre um comportamento de filtração bem diferente daquele idealizado, mostrado na Figura 3.1. Pode-se perceber na Figura 3.2, que a curva de filtração não é linear após o segundo ciclo de filtração, indicando a compressão da torta, que resulta num tempo de filtração bem menor em comparação do comportamento ideal, Figura 3.1. A explicação para isso é que durante a passagem do gás sujo através do meio filtrante, as partículas de pó vão se aderindo no meio filtrante e as partículas seguintes vão se sobrepondo uma sobre as outras, comprimindo a torta. Durante a compressão da torta, reduz-se a sua porosidade, aumentando a resistência para a passagem da corrente de gás. Assim, para altas pressões (maiores que 2KPa) a torta de pó é fortemente comprimida, reduzindo a tempo de duração dos ciclos. A outra explicação para a diminuição do período durante os ciclos de filtração é a massa de pó residual, que fica depositada no meio filtrante, depois da sua limpeza, provocando uma queda de pressão residual,  $\Delta P_{\text{residual}}$ .



**Figura 3.2-** Ciclos de filtração reais (Norma VDI3926, 2003)

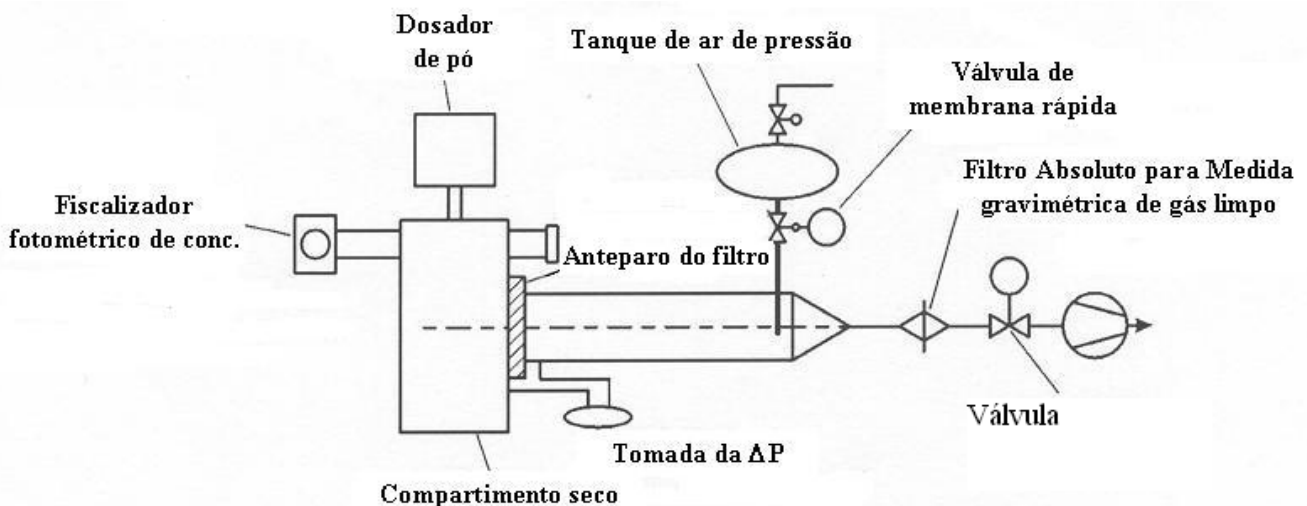
Os meios filtrantes não são limpos completamente, ou seja, não ocorre a remoção total da torta de pó. Na prática, as tortas são destacadas do meio filtrante por blocos. O meio depois do primeiro ciclo não se regenera completamente, sendo que parte da torta é removida e outra parte permanece nos meios filtrantes, reduzindo a efetividade da filtração. Esse comportamento é denominado Patchy Cleaning (limpeza por blocos). Isso conseqüentemente também leva a redução do tempo dos subseqüentes ciclos e fazendo com a curva de  $\Delta P$  inicial e  $\Delta P$  final fique convexa, como pode ser observado na Figura 3.3. Por causa desses pedaços retidos, a velocidade do ciclo amamenta, fazendo com que a mesma quantidade de torta se forme mais rapidamente. Comparando o caso ideal, Figura 3.1, com esse caso real as curvas de filtração são convexas.



**Figura 3.3** – Ciclos de filtração reais, com comportamento de limpeza por blocos (patch cleaning) (Norma VDI3926, 2003)

A duração do ciclo e a  $\Delta P$  residual em regra geral muda sobre uma grande quantidade de ciclos. Em muitos casos apresentam valores aproximadamente constantes, chamados de comportamento estável. Para dizer isso são necessários no mínimo 100 ciclos e, em muitos casos, mais de 1000 ciclos. A estabilidade da queda de pressão residual, também pode ser determinada contando o número de ciclos com a mesma duração dos ciclos e pelo valor constante da  $\Delta P$  residual, durante os ciclos. É preciso um certo cuidado em afirmar a estabilidade, porque podem ser percebidas alterações com grandes quantidades de ciclos. Quando se tem alteração nos ciclos isso pode ser notado em um tempo de 5 segundos (Norma VDI3926).

A Figura 3.4 mostra o esquema geral de um equipamento para fazer um teste padrão de filtração .



**Figura 3.4.** Esquema geral de um equipamento de filtração (Norma VDI3926, 2003)

A seguir serão apresentadas as principais metodologias para a realização desse estudo.

#### 4) MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão mostrados os principais equipamentos e materiais que serão utilizados para a realização deste trabalho.

##### 4.1) Filtro

O filtro a ser utilizado será um filtro GTS (cartucho ou Cesto). A Figura 3.1 mostra um diagrama esquemático do equipamento que será utilizado na realização desse estudo.

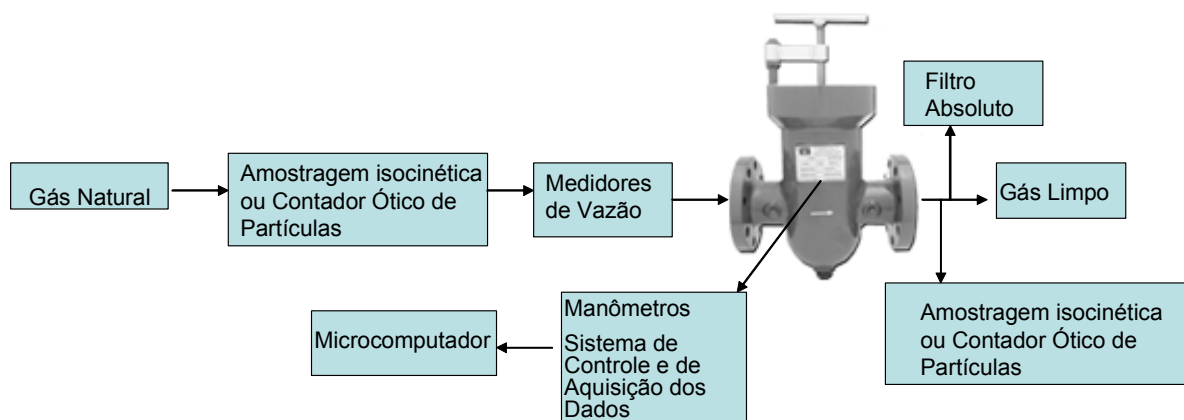


Figura 3.1 – Diagrama esquemático do equipamento

A seguir serão apresentados os principais periféricos

##### 4.1.1) Gás Natural

O gás fornecido pela comgas.

##### 4.1.2) Válvulas, Controladores e Medidores de Pressão e de Vazão

Para o direcionamento do escoamento de ar são utilizados válvulas e controladores.

Elas serão necessárias para controlar a vazão de ar.

Para medir a de queda de pressão total no filtro será utilizado um manômetro.

#### **4.1.3) Contador Ótico de partículas.**

Esse equipamento será utilizado para fazer a amostragem e monitoramento das partículas que serão coletadas.

#### **4.1.4) Balança**

A balança será realizada para calcular a fração de massa total e a fração de massa removida após a limpeza dos meios filtrantes, para todos os ciclos de filtração.

#### **4.1.5) Filtro Absoluto.**

Para verificar a eficiência dos meios filtrantes.

#### **4.1.6) Meios Filtrantes**

Na filtração do gás natural, serão testados dois meios filtrantes o de papel e o de inox.

### **4.2) Métodos Experimentais**

#### **4.2.1) Realização dos Experimentos de Filtração**

Os experimentos serão realizados de acordo com a norma alemã VDI 3926, 2003. Sendo que o gás natural "sujo" será forçado a passar através de um filtro, que possui um elemento filtrante, papel ou inox, a uma vazão constante. Este ar "sujo" passará pelo meio filtrante, onde as partículas ficarão retidas na sua superfície, formando a torta de filtração.

O ar "limpo" que sai do filtro terá sua vazão medida por um medidor de orifício acoplado a um manômetro. Essa vazão de ar será mantida constante, durante toda a operação de filtração. Nessa etapa, será registrada a queda de pressão total no filtro e a massa de pó depositada no tecido em função do tempo de filtração.

#### 4.2.2) Remoção da Torta.

A remoção da torta será necessária para completar os ciclos de filtração, veja Figura 3.2, que consiste da filtração, propriamente dita, e da remoção da torta, que poderá ser por fluxo de ar reverso, ou pulso reverso, ou por vibração. O mecanismo de remoção da torta que será empregado depende do tipo de filtro que será utilizado.

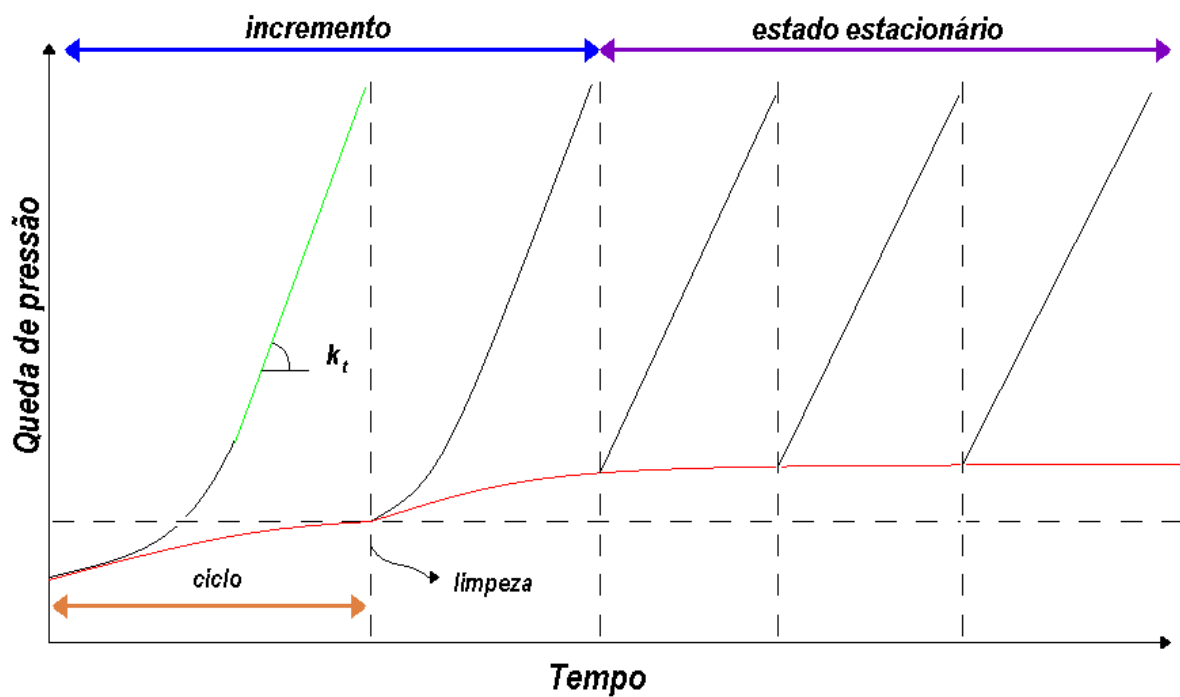


Figura 3.2- Ciclos de filtração e limpeza

#### 4.2.3) Variáveis e Condições Operacionais a Serem Usadas nos Ensaios de Filtração

As variáveis que serão estudadas nos ensaios de filtração serão: o meio filtrante, a velocidade superficial de filtração ( $U$ ) e a espessura da torta ( $L$ ) e a temperatura. A umidade relativa do ar será mantida constante durante todo processo.

#### 4.2.4) Análise do Gás Natural

Antes de iniciar os testes de filtração será necessário realizar um estudo detalhado do gás natural, para caracterizá-lo física e quimicamente, no sentido de ter um conhecimento bem preciso desse gás. Esta investigação certamente facilitará na escolha do meio filtrante mais apropriado no processo de filtração do gás natural.

### 5) RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se com o resultado desse projeto sanar todas as possíveis dúvidas sobre a filtração do gás natural e qual o melhor meio filtrante a ser empregado durante esse processo. Os resultados obtidos nesse trabalho com certeza trarão muitos benefícios para as empresas que fornecem o gás natural, porque além de conhecer melhor o seu produto, também poderá garantir a sua qualidade, além de conhecer o meio filtrante que resulte em uma baixa perda de carga, em uma eficiente remoção das partículas e um baixo custo de manutenção.

### 6) CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO.

O Cronograma de execução do projeto está apresentado na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1** – Cronograma de execução do projeto

S	Gráfica	do Gás	nares	mental	dos	ção
						ários e Publicação
1	X	X	X			
2	X	X	X			
3	X	X	X	X		
4	X	X	X	X		
5	X		X	X	X	
6	X		X	X	X	X
7	X			X	X	

8	X			X	X	
9	X			X	X	
10	X			X	X	
11	X			X	X	
12	X			X	X	X

**Período de 1 ano.**

## 9) INVESTIMENTO E RETORNO

1) Investimento: Custo total da pesquisa e/ou por mês.

2) Retorno

Admitindo um consumo de 100 Elementos de Filtro de 3"

Elemento lavável:

- Tecido de fios de AISI 316: R\$ xxx / m<sup>2</sup>
- Estrutura de telas AIS 304: R\$ xxx / m<sup>2</sup>
- Área do cilindro: xxx m<sup>2</sup>
- Custo do material: R\$ xxx
- Consumo de UNISOLVE: xxx litro / lavagem
- UNISOLVE: R\$ xxx / litro
- Lavagens: xxx / ano
- Custo total por ano: R\$ função(material + lavagens)

Elemento descartável

- Não tecido celulósico: R\$ xxx / m<sup>2</sup>
- Área do meio plissado: xxx m<sup>2</sup>
- Estrutura de telas aço carbono: R\$ xxx / m<sup>2</sup>
- Área do cilindro: xxx m<sup>2</sup>
- Trocas por ano: xxx / ano
- Custo total por ano: R\$ função(troca de elementos)



## 8) EQUIPE.

- Profª Drª Mônica Lopes Aguiar
- Engº Sergio Geissler Prince
- Aluno nível mestrado
- Aluno de Iniciação Científica
- Técnico de Laboratório

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

**VDI 3926** Normas Técnicas, 2003

**DIN 3386** Normas Técnicas

**BS 6410** Normas Técnicas.

## BIBLIOGRÁFICA COMPLEMENTAR

AGUIAR, M.L. **Filtração de ar em filtros de tecido**. 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

AGUIAR, M.L. **Filtração de gases em filtros de tecido: deposição e remoção da camada de pó formada**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

BAKER, J.F.; No binder required to create composite media. **Filtration and Separation**, v. 38, i. 3, p. 26-28, 2001.

BARNETT, T. Improving the performance of fabric filter dry dust collection equipment. **Filtration and Separation**. v.37, i.2, p. 28-32, 2000.

- BILLINGS, C.E. & WILDER, J. **Handbook of fabric filter**. Springfield, EUA, NAPCA Publication PB-200 648, National Technical Information Service, 1970.
- BILLMEYER, Fred W. **Ciência de los Polímeros**. 2 Ed. Barcelona, España: Editorial Reverté S.A., 1975. p. 447-448.
- CARMAN, P.C. **Flow of gases through porous media**. New York, Academic Press, 1956.
- COURY, J.R. ; AGUIAR, M.L. Cake formation in fabric filtration of gases. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 35, p. 3673, 1996.
- COURY, J.R. ; AGUIAR, M.L. Rupture of dry agglomerates. **Powder Technology** , v. 85 , p. 37-43, 1995.
- DAVIS, W.T.; BUONICORE, A.J. **Air Pollution Engineering Manual**. p. 118-131. Air and Waste Management Association. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- DICKENSON, C. **Filters and Filtration Handbook**. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford: Elsevier Advanced Technology, 1994.
- DENNIS, R. ; DIRGO, J.A. Compaction of laboratory and field derived K2 values for dust collected on fabric filters. **Filtration and Separation**, v. 18, p. 394, 1981.
- DONOVAN, R.P. **Fabric filtration for combustion sources**. New York, Marcel Dekker Inc., 1985.
- KOCH, D.; SEVILLE, J. ; CLIFT, R. Dust cake detachment from gas filters. **Powder Technology**, v. 86, p. 21-29, 1996.
- KOCH, D.; SCHULTZ, K.; SEVILLE, J.P.K.; CLIFT, R. Regeneration of rigid ceramic filters. Gas Cleaning at High Temperatures. Blackie Academic & Professional, London, p. 244, 1993.
- LEITH, D. ; ALLEN, R.W.K. Dust Filtration by Fabric Filters. **Progress in Filtration and Separation**, v. 4, p.1-55, 1986.
- 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**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- LYDON, R.P. New composite filter media. **Filtration and Separation**, v.37, i.5, pag. 26-28, june, 2000.

- MARTINS, J.C. **Estudo da deposição de material particulado no meio filtrante durante a filtração gás sólido**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- MATTESON, M.J.; ORR, C. **Filtration: Principles and Practices**. 2 Edition. New York, USA: Marcel Dekker Inc., 1986. v. 27 (Chemical Industries).
- MORRIS, K.; ALLEN, R.W.K.; CLIFT, R. Adhesion of cakes to filter media. **Filtration and Separation**, v. 41, p.41-45, 1987.
- NEGRINI, V.S.; MARTINS, J.C.; COURRY, J.R. E AGUIAR, M.L. Determinação da porosidade de tortas de filtração de gases em função da velocidade superficial de filtração. In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, São João Del-Rei, MG, 2000 , **Anais do XXIII ENEMP**, Teresópolis, RJ, 2001, p. 191-197.
- SANCHEZ, J.R. et al.; Comparative study of different fabrics in the filtration of an aerosol using more complete filtration indexes. **Filtration and Separation**, v.34, i.6, p. 593-598, july/august, 1997.
- SCHMIDT, E. ; LOFFLER, F. Preparation of dust cakes for microscopic examination. **Powder Technology**, v. 60, p. 173-177, 1990.
- SCHUBERT, H. Principles of agglomeration. **International Chemical Engineering**, v. 21, i. 3, p.363-371, 1981.
- 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. ; LOEFFLER, F. Dust cake release from non-woven fabrics. **Filtration and Separation**, v. 24, p.424-427, 1987.
- SILVA, C.R.N. et al. Influence of gas velocity on cake formation and detachment. **Powder Technology**, v. 101, p.165-172, 1999.