

# *Monografia de Graduação*

## **Estudo do Tratamento Fotoquímico da Água de Produção**

**AÉCIO LOPES BORGES**

**Natal, dezembro de 2009**

**AÉCIO LOPES BORGES**

***Estudo do Tratamento Fotoquímico da Água  
de Produção***

Esta monografia é parte integrante dos requisitos necessários para a conclusão do curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte para obtenção do título de Engenheiro Químico.

**Orientador: Osvaldo Chiavone Filho**

**NATAL-RN**

**Dezembro de 2009**

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a memória de meu querido avô, João Garcia de Araújo, que não teve a oportunidade de viver este momento.*

## **AGRADECIMENTOS**

Um agradecimento especial ao Professor Osvaldo Chiavone Filho, meu orientador, por ter confiado em mim e me apoiado durante toda a pesquisa.

Agradeço também com a mesma intensidade ao meu amigo o Doutorando André Luis Novaes Mota, pelos ensinamentos e paciência a mim prestados.

A todo o pessoal que compõem o FOTEQ, meus sinceros agradecimentos.

Agradeço a ANP e ao PRH-14 por financiarem esta pesquisa.

# Sumário

<b><u>1- Introdução</u></b> .....	6
<b><u>2- Revisão Bibliográfica</u></b> .....	7
<u>2.1- PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POA)</u> .....	7
<u>2.1.1- PROCESSOS HETEROGÊNEOS</u> .....	9
<u>2.2- PROCESSO FOTO-FENTON</u> .....	10
<u>2.3- DEGRADAÇÃO DO FENOL VIA PROCESSO FOTO-FENTON</u> .....	15
<b><u>3- Materiais e Métodos</u></b> .....	15
<u>3.1- REAGENTES</u> .....	15
<u>3.2- DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO REATOR</u> .....	15
<u>3.3- MÉTODO</u> .....	16
<u>3.4- EQUIPAMENTO DE ANÁLISE</u> .....	16
<b><u>4- Resultados e Discussão</u></b> .....	16
<u>4.1- EFEITO DO TIPO DO PROCESSO</u> .....	16
<u>4.2- Efeito da Presença de Cloreto</u> .....	18
<u>4.3- Teste do Reator Solar</u> .....	19
<u>4.4- INFLUÊNCIA DA ÁREA IRRADIADA</u> .....	19
<u>4.5- Teste Utilizando Água de Produção da Fazenda Belém</u> .....	20
<b><u>5- Conclusões</u></b> .....	20
<b><u>7- Referências Bibliográficas</u></b> .....	21

## 1- Introdução

A produção de Petróleo & Gás é acompanhada de significativa produção de água, normalmente conhecida como água de produção, sendo esta o rejeito de maior volume em todo o processo de exploração e produção de petróleo. Sabe-se que, durante a vida econômica de um poço de petróleo, o volume de água de produção pode chegar a exceder dez vezes o volume de produção de óleo (Henderson *et al.*, 1999). Esta produção excessiva de água se tornou uma das maiores preocupações na indústria de óleo e gás.

Denomina-se água de produção toda a água produzida junto com o petróleo, seja esta a água de formação ou a água de injeção, usada para estimular a produção de um poço. Em campos maduros, a produção de água pode chegar a mais de 90% da produção total (Thomas *et al.*). Além dos problemas logísticos causados pelo grande volume de água, essa água está contaminada, já que tende a formar emulsões estáveis com o óleo, e não pode ser descartada sem tratamento prévio. Esses tratamentos são muitas vezes dispendiosos, e mesmo assim a água não é reutilizada, mas descartada.

A unidade PETROBRAS em Guamaré/RN possui uma estação de tratamento de efluentes que funciona tratando e descartando 80000 m<sup>3</sup>/dia. O sistema consiste de um tanque de decantação, onde boa parte do óleo fica flotado e sai por gravidade; a água ainda com hidrocarbonetos é levada a um tanque onde é adicionada um polieletrólito, e a mistura passar por um separador eletrostático. Tal sistema recebe uma mistura de óleo em água com concentração de aproximadamente 100 ppm de teor de óleos e graxas (TOG) e reduz essa concentração para limites inferiores a 20 ppm podendo chegar a 10 ppm, daí é diretamente descartada no mar.

Em um país onde muitas regiões não têm acesso à água de boa qualidade, tanto para uso na agricultura como para consumo humano, esse desperdício de água torna-se absurdo. Além disso, mesmo que a água não atinja requisitos tão rígidos quanto o da potabilidade, esta pode ser empregada em processos industriais, entre outros. Ou seja, soluções para esse problema são necessárias.

Uma alternativa para a degradação de substâncias orgânicas tóxicas contidas em efluentes aquosos é a utilização dos chamados processos de oxidação avançados (POA), os quais apresentam como principal vantagem a capacidade da eliminação da substância tóxica ou conversão da mesma para uma forma biodegradável, devido à geração de radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ), substâncias capazes de atacar a maioria das moléculas orgânicas (Muszkat, Bir, & Feigelson, 1995).

O emprego dos processos oxidativos avançados em escala industrial apresenta como principal obstáculo os custos relacionados aos reagentes químicos e principalmente, quando se faz necessário o uso, às fontes de radiação ultravioleta-UV (manutenção e consumo de energia elétrica). A aplicação de um foto-reator usando luz solar, juntamente com um tratamento bioquímico, de preferência no próprio campo de extração, pode de forma econômica e tecnicamente viável atender pelo menos parcialmente o problema de seca da região e ao mesmo tempo eliminar os contaminantes orgânicos com uma tecnologia ambientalmente correta.

A primeira parte do projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um novo reator fotoquímico utilizando uma fonte de radiação UV de baixo custo, aplicado no tratamento e recuperação de águas contaminadas com derivados de petróleo. Este reator consiste de um conjunto de 4 lâmpadas fluorescentes (*black light*, de 40W de potência cada) de acionamento individual, o qual permite avaliar variáveis como área irradiada, concentrações ideais de reagentes, volume e vazão do sistema. O processo estudado foi o sistema foto-Fenton, uma combinação de íons ferrosos, peróxido de hidrogênio e

radiação ultravioleta-visível, sendo aplicado na degradação de um efluente aquoso, simulado em laboratório, apresentando o fenol como poluente modelo, que contém um anel aromático em sua estrutura, uma das principais classes de poluentes da indústria do petróleo. Em seguida se realizou testes com água de produção oriunda do campo Fazenda Belém-Aracati-CE, um campo de produção de óleo situado no estado do Ceará.

Por fim, realizaram-se reações de fotodegradação utilizando a luz solar como fonte de energia.

## 2- Revisão Bibliográfica

### 2.1- Processos Oxidativos Avançados (POA)

Os processos oxidativos avançados (POA) são tratamentos baseados na geração de radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ), substâncias altamente oxidantes capazes de reagir com praticamente todas as classes de compostos orgânicos. Os radicais hidroxila podem ser obtidos a partir do uso de peróxido de hidrogênio e luz ultravioleta (UV), ozônio e luz UV, fotocátalise com  $\text{TiO}_2$  ou fotólise de água com luz UV. Além de seu extraordinário poder oxidativo, eles são também caracterizados pela não seletividade do ataque, o que é um atributo muito útil para um agente oxidante usado em tratamentos de efluentes aquosos e para resolver problemas de poluição, conforme ressaltado por Malato et al. (2002), citado em Mota (2005).

Muitos são os métodos de tratamento de águas, mas a maioria, como a flotação, filtração e adsorção com carvão ativo são métodos físicos de separação não destrutivos, ou seja, eles apenas retiram os poluentes e os transferem para outros lugares, gerando com isso, depósitos concentrados, como foi mostrado por Crittenden et al. (1997). Segundo Muszkat; Bir; Feigelson (1995), em águas contaminadas com altas concentrações de substâncias orgânicas não biodegradáveis, onde um tratamento biológico de água não é possível, os processos oxidativos avançados surgem como alternativa para o tratamento, pois são capazes de gerar radicais hidroxilas altamente oxidantes, os quais podem reagir com praticamente todas as classes de compostos orgânicos, degradando-os e resultando em sua completa mineralização, obtendo como produto  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  ou resultando em produtos mais biodegradáveis, conforme ressaltado por Bolton et al. (1995) e Pignatello (1992).

Economicamente, os POA não deviam substituir o tratamento biológico como tratamento de efluente, devido ao elevado custo de reagentes, como o  $\text{H}_2\text{O}_2$  ou o  $\text{O}_3$ . As potencialidades oferecidas pelos POA podem ser exploradas para a degradação oxidativa de substâncias refratárias ou tóxicas para os microorganismos, como é o caso do fenol, encontrado em diversos efluentes industriais. Outro aspecto relativo à oportunidade de aplicação dos POA refere-se na carga de poluentes presentes em efluentes aquosos regularmente expressa em demanda química de oxigênio (DQO). Somente em efluentes com uma DQO relativamente pequena ( $<2.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) pode ser, adequadamente, tratado por meio destas técnicas, uma vez que um índice de DQO mais elevado requereria um consumo muito grande de reagentes, inviabilizando o tratamento, como foi apresentado por Malato et al. (2002). Entretanto, como apontado por Pera-Titus (2004), a combinação de um POA como tratamento preliminar, seguido de um tratamento biológico de baixo custo (Figura 2.1), mostra ser uma opção bastante interessante do ponto de vista econômico.

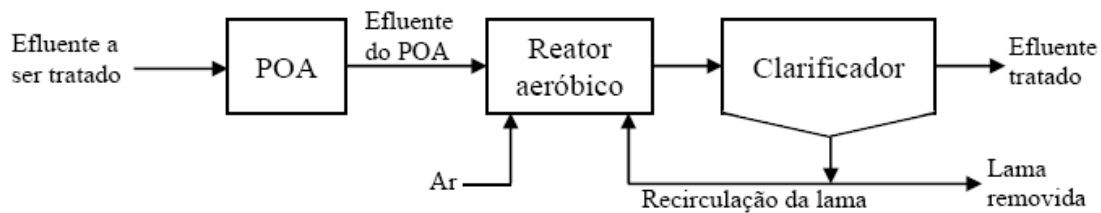


Figura 2.1. Esquema da combinação do POA com o tratamento biológico para o tratamento de efluente. (Fonte: Pera-Titus et al, 2004)

Martínez et al. (2003) cita outro aspecto interessante, o tempo total de processo consumido pelo reagente de Fenton no pre-tratamento de efluentes industriais. Em experimentos realizados por eles na degradação de efluentes oriundos da indústria farmacêutica, mais de 90% do total removido da carga orgânica inicial foi removida em apenas 10 minutos de reação, em determinadas condições operacionais.

Uma outra vantagem do POA é que esse tipo de processo também pode ser aplicado no tratamento de água contaminada com micro poluentes para obtenção de água potável, como foi realizado em escala piloto por Holland et al., em New Orleans (2002). Segundo Pera-Titus et al. (2004), apesar de ter um custo maior, os tratamentos pelo processo de geração de radicais hidroxila apresentam um poder de oxidação superior aos tratamentos com cloro ( $\text{Cl}_2$ ) ou carbono ativado, como pode ser conferido na Tabela 2.1, a qual mostra uma comparação do potencial oxidativo dos radicais hidroxila com outros agentes oxidantes.

Tabela 2.1. Comparação do poder de oxidação de algumas substâncias oxidantes. (Fonte: Mota, 2005)

<b>Agente Oxidante</b>	<b>Poder de Oxidação (V)</b>
Flúor ( $\text{F}_2$ )	3,03
Radical hidroxila ( $\text{HO}\cdot$ )	2,80
Oxigênio atômico	2,42
Ozônio ( $\text{O}_3$ )	2,07
Peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	1,77
Permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ )	1,67
Ácido hipobromoso ( $\text{HBrO}$ )	1,59
Dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ )	1,50
Ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ )	1,49
Cloro ( $\text{Cl}_2$ )	1,36
Bromo ( $\text{Br}_2$ )	1,09



Huang; Dong; Tang (1992) propuseram que estes processos poderiam ser divididos em sistemas homogêneos e heterogêneos, baseados na geração de radicais hidroxila com ou sem irradiação UV.

### 2.1.1- Processos Heterogêneos

Os processos heterogêneos são caracterizados pela utilização de vários catalisadores semicondutores, como óxido de zinco (ZnO) e o dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>).

A fotólise do TiO<sub>2</sub> tem mostrado ser o mais adequado semicondutor para o uso na degradação de poluentes orgânicos devido a sua eficiência, estabilidade, atoxicidade e insolubilidade em água, implicando, conseqüentemente, em um crescente estudo de suas aplicações (Malato et al., 1996; Crittenden et al., 1997; Le Campion et al., 1999; Malato et al., 1999; Bessa et al., 2001; Heredia et al., 2001; Bhatkhande et al., 2004). Seu mecanismo reacional baseia-se na absorção de fótons de energia pelo TiO<sub>2</sub> suficiente para que um elétron seja promovido da banda de valência para a banda de condução do semicondutor, como mostrado a seguir.



### 2.1.2- Processos Homogêneos

Os processos homogêneos caracterizam-se pela ocorrência de geração de radicais hidroxila em uma única fase. (Huang; Dong; Tang 1993), citam como exemplos desse tipo de processo: a utilização do ozônio (O<sub>3</sub>), do peróxido de hidrogênio e do reagente de Fenton (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>), na presença ou não de luz ultravioleta (UV).

No processo utilizando luz UV e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), a luz UV tem a função de dissociar o peróxido de hidrogênio em dois radicais.

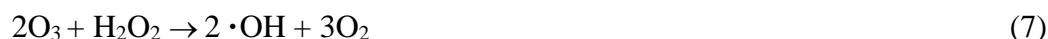


Na oxidação do diclorometano (um poluente orgânico bastante presente em efluentes), por exemplo, sofre as seguintes etapas reacionais:



Como resultado da reação, o contaminante orgânico (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) é completamente mineralizado, significando que ele foi completamente convertido a gás carbônico ou a água e sal mineral; todos compostos inócuos. Esta capacidade de destruir completamente os poluentes é a principal vantagem dos processos oxidativos avançados sobre os demais processos convencionais de tratamento de água.

No caso do processo utilizando o ozônio (O<sub>3</sub>), o mesmo é ativado através do peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), os radicais hidroxila são gerados de acordo com a equação geral:



Os radicais produzidos deste modo destroem as combinações orgânicas pelos mesmos passos do processo utilizando UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## 2.2- Processo Foto-Fenton

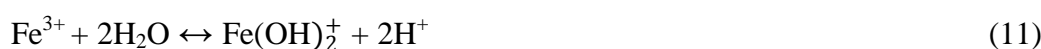
O reagente de Fenton é conhecido há bastante tempo (descrito por Fenton no final do século XIX), o qual consiste na combinação de peróxido de hidrogênio e de íons ferrosos ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ), mas só recentemente, após a descoberta da ação da luz UV na reação, a, agora então, chamada de Foto-Fenton, teve seu reconhecimento como uma poderosa ferramenta no tratamento de efluentes aquosos contendo poluentes não biodegradáveis (Pignatello, 1992). Seu mecanismo reacional consiste, primeiramente, na decomposição de peróxido de hidrogênio em meio ácido na presença de íons ferrosos, levando à formação de radicais hidroxila (Henle *et al.*, 1996), a reação de Fenton, conforme mostrado abaixo.



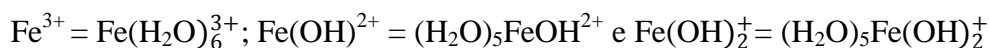
Os íons  $\text{Fe}^{3+}$  sofrem fotólise (Equação 9), pela ação da radiação UV/Visível, reduzindo-se ao número de oxidação inicial, os quais reagem novamente com o  $\text{H}_2\text{O}_2$ , promovendo uma contínua fonte de radicais hidroxila.



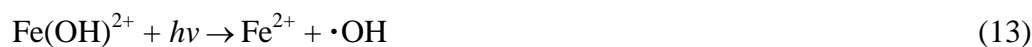
Estudos mais recentes (Kiwi *et al.*, 2000; Zhao, 2004), mostram que o  $\text{Fe}^{3+}$  sofre redução passando a  $\text{Fe}^{2+}$  a partir de complexos formados com a água (Equações 10-11).



Em que,



Estes complexos por sua vez sofrem fotólise resultando em íons  $\text{Fe}^{2+}$  e liberando um radical hidroxila (Equações 12-13).



Os radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ) são formados pelo ciclo fotocatalítico do sistema  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  e reagem com os compostos orgânicos presentes no meio (RH), oxidando-os (Equação 14), como mostrado por Rossetti *et al.* (2002). O peróxido de hidrogênio é consumido durante o processo.



O processo foto-Fenton tem se destacado entre os POA que utilizam a luz em sua reação, pois tem a vantagem de ser sensível à luz UV-visível, uma vez que as espécies foto-reativas deste processo absorvem luz em comprimentos de onda maiores do que 300 nm (Fallmann *et al.*, 1999), possibilitando o aproveitamento da luz solar.

## 2.3- A Radiação Solar

A luz solar consiste em um espectro contínuo, composto pelo infravermelho (IV), pelo visível (VIS) e pelo ultravioleta (UV). Esta energia é imprescindível para a manutenção da vida na Terra, aquecendo o planeta e possibilitando a realização do processo de fotossíntese. O Sol também emite raios cósmicos, raios gama, raios-X e radiações de radiofrequência, mas estes últimos chegam em quantidades muito pequenas na superfície terrestre.

Uma parcela da radiação emitida pelo sol, ao atravessar a camada atmosférica terrestre, sofre fenômenos de espalhamentos, esta radiação é dita difusa. A parcela da radiação que não sofre desvio, pela atmosfera, é conhecida como radiação direta. A soma das radiações difusa e direta é a chamada radiação global.

A radiação que penetra a atmosfera terrestre é composta da seguinte maneira: 3% de UV, 42% de radiação visível e 55% de radiação infravermelha. A radiação UV, embora em menor proporção, é a fração mais perigosa para a maioria dos seres vivos. Seu espectro abrange de 100 até 400nm, sendo esta faixa de comprimento de onda assim classificada:

- UV-C: 100 - 290nm
- UV-B: 290 - 320nm
- UV-A: 320 - 400nm

Na radiação UV, emitida pelo Sol, são encontradas as três categorias, porém o UV-C é totalmente absorvido pelo ozônio da camada atmosférica, restando uma fração do UV-A (em maior proporção) e do UV-B. Esta última, embora em pequena quantidade, é a responsável por graves lesões no ser humano, e outras formas de vida, sendo um dos causadores do câncer de pele (Figura 2.1).

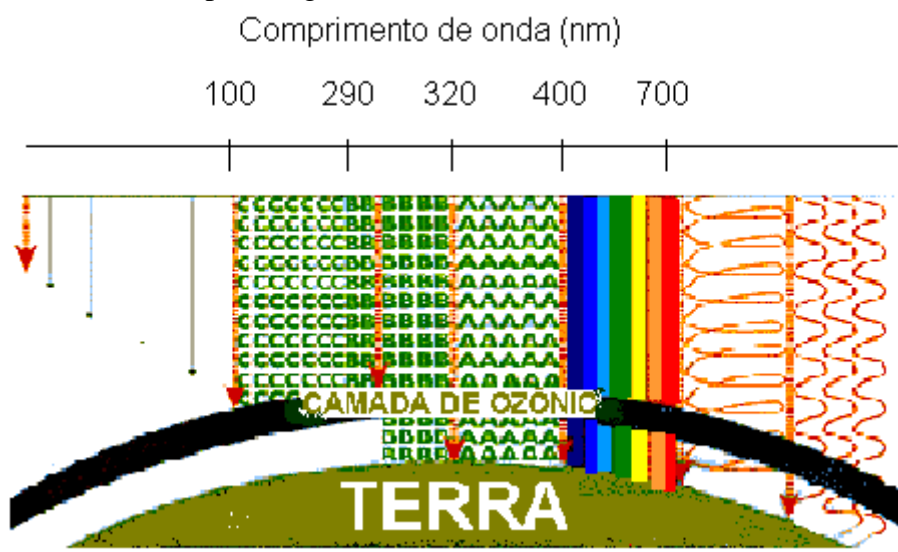


Figura 2.1 – Espectro solar que atinge à superfície terrestre

#### 2.4- Reatores Foto Químicos

Os reatores fotoquímicos podem ser classificados quanto à fonte de radiação, que pode ser solar ou artificial (utilizando uma lâmpada de luz ultravioleta, por exemplo).

##### 2.4.1- Reatores com fonte de luz artificial

As fontes artificiais de radiação mais comuns para estes reatores fotoquímicos são as lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa, média ou alta pressão, todas com emissão de luz UV. Estas lâmpadas usualmente são dispostas de forma que o efluente a ser tratado receba a maior concentração de fótons possível, para isso muitos reatores utilizam placas espelhadas refletoras, ou mesmo são construídos de forma cilíndrica e de paredes internas de material refletor. A Figura 2.3a mostra o esquema de um reator que utiliza uma superfície refletora acoplada à lâmpada, desenvolvido na Universidade de Barcelona, na Espanha, por Rodriguez *et al.* (2002).

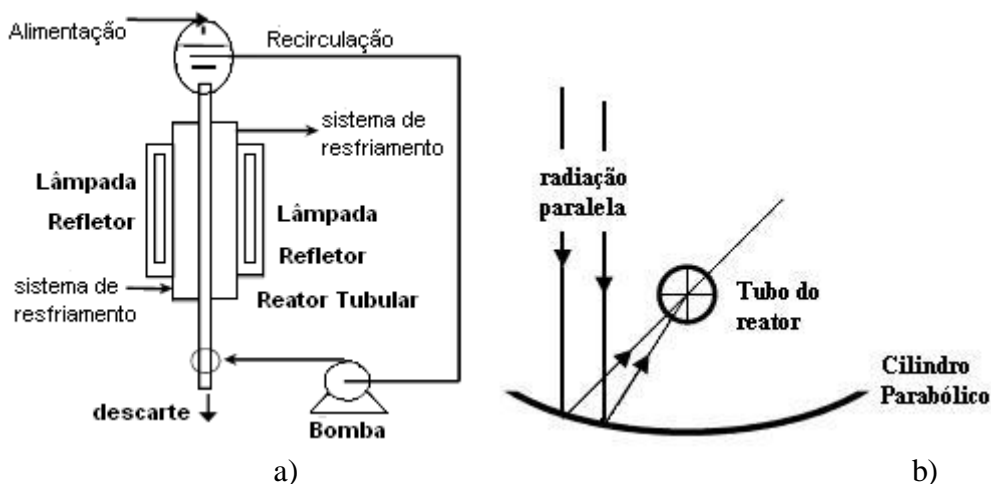


Figura 2.3. a) Esquema de um reator fotoquímico tubular; b) Modelo da incidência da radiação.

Para avaliar o campo de radiação dentro do reator fotoquímico, um modelo muito simples pode ser usado, como feito por Rodriguez *et al.* (2002). Assumindo uma forma parabólica perfeita do refletor sobre a condição prévia que todos os raios atingem a superfície curvilínea do espelho em paralelo (Figura 2.3b), é certo que a concentração do impacto de radiação está direcionado no foco. Isto significa que qualquer raio refletido incide na superfície do tubo verticalmente, por conseguinte, evitando uma reflexão significativa e simultaneamente permite que qualquer fóton percorra o diâmetro  $d$  inteiro do tubo. Para descrever as propriedades de absorção, a equação seguinte pode ser usada:

$$\frac{W_{abs}}{W_e} = 1 - \exp(-\mu \cdot d) \quad (15)$$

A absorvância  $\mu$  pode ser obtida a partir do espectro de absorção do composto a ser analisado. O fluxo de energia (fótons) que entra no reator ( $W_e$ ) pode ser obtido por actinometria, e o fluxo de energia (fótons) absorvida ( $W_{abs}$ ) é calculado pela Equação 15. Desta forma, pode-se otimizar a incidência de luz e, conseqüentemente, a potência da lâmpada necessária para ser utilizada.

A Figura 2.3.1 mostra o esquema de um reator fotoquímico bastante utilizado em escala de bancada, o qual é utilizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e na Universidade de São Paulo (USP). Este reator é composto por um tanque de circulação, um poço de vidro, uma bomba de circulação, um agitador mecânico e uma bomba peristáltica para dosagem do peróxido de hidrogênio. O reator utiliza lâmpadas de vapor de mercúrio de média pressão (Hanovia 679A36, 450W) como fonte emissoras de radiação UV. As lâmpadas ficam alojadas em um poço de quartzo ou de borossilicato, resfriada por água. A temperatura do tanque é controlada por um banho termostático e é monitorado por um termômetro digital.

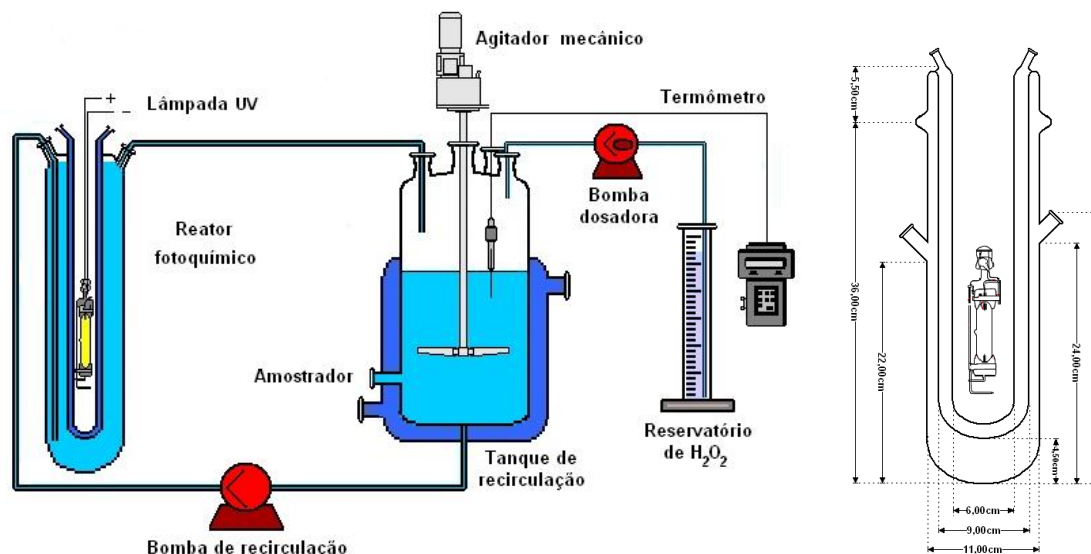


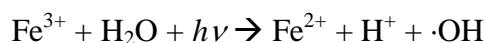
Figura 2.3.1 Esquema do reator fotoquímico com fonte artificial de radiação UV.

#### 2.4.2 - reatores solares

Ao contrário de processos solares térmicos, que são baseados na coleta de grandes quantidades de fótons de todos os comprimentos de onda para alcançar uma temperatura específica, os processos fotoquímicos solares são baseados em coleta de fótons de um curto comprimento de onda de alta energia para promover reações. A maioria dos processos fotoquímicos solares usa luz UV ou próxima da UV (300–400 nm), mas alguns processos têm capacidade de absorção de luz superior a 500 nm, como é o caso da fotocatalise homogênea de foto-Fenton, a qual faz uso da luz solar de comprimento de onda de até 600 nm (Malato *et al.*, 2002). A Tabela 2.2 mostra uma comparação dos tipos de processos oxidativos avançados (POA) quanto à região do comprimento de onda ( $\lambda$ ) da luz que cada processo necessita.

Tabela 2.2. Região do comprimento de onda necessário para cada tipo de POA.

Método	Principal reação	Luz necessária
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	$H_2O_2 + h\nu \rightarrow 2 \cdot OH$	$\lambda < 310 \text{ nm}$
UV/O <sub>3</sub>	$O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O(^1D)$ $O(^1D) + H_2O \rightarrow 2 \cdot OH$	$\lambda < 310 \text{ nm}$
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub>	$O_3 + H_2O_2 + h\nu \rightarrow O_2 + \cdot OH + \cdot OH_2$	$\lambda < 310 \text{ nm}$
UV/TiO <sub>2</sub>	$TiO_2 + h\nu \rightarrow TiO_2(e^- + h^+)$ $TiO_2h^+ + \cdot OH_{ad} \rightarrow TiO_2 + \cdot OH_{ad}$	$\lambda < 380 \text{ nm}$
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub>	$TiO_2 + h\nu \rightarrow TiO_2(e^- + h^+)$ $TiO_2h^+ + \cdot OH_{ad} \rightarrow TiO_2 + \cdot OH_{ad}$ $H_2O_2 + e^- \rightarrow \cdot OH + \cdot OH$	$\lambda < 380 \text{ nm}$
UV/S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> /TiO <sub>2</sub>	$TiO_2 + h\nu \rightarrow TiO_2(e^- + h^+)$ $TiO_2h^+ + \cdot OH_{ad} \rightarrow TiO_2 + \cdot OH_{ad}$ $S_2O_8^{2-} + e^- \rightarrow S_2O_4^{2-} + S_2O_4^{2\cdot}$	$\lambda < 380 \text{ nm}$
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup>	$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + \cdot OH + \cdot OH$	
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup>	$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + \cdot OH + \cdot OH$	$\lambda < 580 \text{ nm}$



Fonte: Mota (2005).

Embora os interesses de pesquisa estejam crescendo, há ainda pouca aplicação conhecida em escala industrial. A primeira planta fotocatalítica solar europeia em escala industrial com condições de operar comercialmente foi construída ainda nesta década. Esta planta é composta de coletores parabólicos (CPC) e é mostrada na Figura 2.4.



Figura 2.4. Coletores parabólicos desenvolvidos para aplicação fotocatalítica.  
(Fonte: Malato *et al.* 2003)

Fazendo uma comparação com os reatores com fonte de luz artificial, os reatores solares apresentam vantagem econômica por usar a energia do próprio sol, mas tem a desvantagem de não poder funcionar continuamente durante todo o dia, funcionando apenas no período de irradiação solar, o que implica em pouco controle sobre o processo.

Mesmo que os reatores solares sejam simples e robustos, seu projeto não é trivial, pois eles devem ser construídos de tal forma que resistam à exposição ao ambiente, além de terem que ser quimicamente inertes e UV-transmissíveis.

Em Almeria na Espanha, foi desenvolvido um protótipo de um reator tubular, para ser testado com águas contaminadas com pesticidas, como citado por Fallmann *et al.* (1999). Este reator apresenta coletores estáticos, posicionados de forma a receber a maior concentração possível de luz. Uma vantagem desses reatores tubulares é que seu projeto permite o aproveitamento de quase toda a radiação UV que chega ao reator, pois seus coletores permitem a captura tanto da luz solar direta como da difusa. A luz refletida pelo coletor é distribuída ao redor da parte de trás do tubo de forma que quase toda a circunferência do tubo seja iluminada.

A Universidade Federal do Rio Grande conta com dois tipos de reatores fotoquímicos solares: um reator solar tubular parabólico e um reator solar de filme descendente. A Figura 2.4.1 mostra o esquema do reator tubular parabólico, o qual consiste em um reator solar concentrador com espelho de perfil parabólico composto por 9 coletores ligados em série, a qual recircula o efluente do sistema.



Figura 2.4.1 Esquema do reator solar tubular parabólico.

### 2.3- Degradação do Fenol via Processo Foto-Fenton

Conforme Leyva et al., 1998, Yang e Long, 1999 e Malato et al., 1997, o fenol e os seus derivados representam uma importante classe de poluentes aquosos, sendo considerados, pela Agência Norte Americana de Proteção Ambiental (EPA - *Environmental Protection Agency*), como poluentes prioritários desde 1976.

Estudos de processos de fotodegradação têm sido realizados, utilizando-se o fenol como poluente modelo. Este fato se deve a alguns fatores, tais como: o crescente aumento da produção de substâncias que possuem o fenol, ou seus derivados, como constituintes, o que é observado nas indústrias petroquímicas, de herbicidas, de plásticos e de explosivos e a existência de uma grande quantidade de trabalhos sobre a aplicação do processo foto-Fenton na degradação do fenol e derivados, em meio aquoso, o que revela um vasto material pré-existente (Araña et al, 2001, Chen et al., 1997 e Krutzler e Bauer, 1999).

O sistema foto-Fenton tem apresentado êxito na foto-oxidação destas substâncias químicas, conseguindo-se, por muitas vezes, uma completa mineralização. Spacek et al. (1995) estudaram os intermediários obtidos durante o processo de degradação do fenol, sendo constatado que a primeira etapa do mecanismo de reação consiste no ataque dos radicais  $\cdot\text{OH}$  (hidroxilação do anel aromático). As mais importantes classes destes intermediários são os catecóis e as hidroquinonas.

## 3- Materiais e Métodos

### 3.1- Reagentes

Para a realização dos experimentos de fotodegradação do fenol e da água de produção, foram utilizados os seguintes reagentes: sulfato ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ , 30%), ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e fenol ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ ). Uma solução inibidora do sistema foto-Fenton também foi preparada (Lei et al., 1998), consistindo em uma mistura de iodeto de potássio (KI; 0,1M), sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ; 0,1M) e hidróxido de sódio (NaOH; 0,1M). Todos os reagentes eram de grau analítico e não sofreram nenhum tratamento de purificação posterior. Também foi usado NaCl para simular um efluente salino.

### 3.2- Desenvolvimento de um novo reator

O novo reator desenvolvido, consiste de quatro conjuntos de refletores parabólicos, tubo e lâmpadas feitas com calhas para lâmpadas fluorescentes (1,30m x

0,40m) de parede interna espelhada, dentro de cada caixa há uma lâmpada fluorescente de luz negra (SYLVANIA, *black light*, 40 W) que funciona como fonte de emissão de radiação UV e um tubo de quartzo, o sistema ainda possui um tanque de mistura com capacidade para 8 Litros e uma bomba (34 W) para circular o efluente, por fim tubos de silicone fazem as conexões entre os tubos de quartzo o tanque de mistura e a bomba.

### 3.3- Método

O efluente foi adicionado ao tanque de mistura, e, então, acionou-se a bomba de circulação. O pH inicial da solução foi ajustado para 3, com a adição de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. O tempo de reação foi iniciado com a adição da solução de FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, preparada previamente em um balão volumétrico, e do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. O H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi dividido em quatro partes iguais e adicionadas no início da reação e a cada 30 minutos, durante os primeiros 90 minutos de experimento. O pH do efluente foi constantemente monitorado por meio de um medidor de pH. Amostras são coletadas em diferentes tempos reacionais para, então, serem analisadas.

### 3.4- Equipamento de Análise

Amostras de 7mL são coletadas ao longo de cada ensaio experimental com o auxílio de uma pipeta graduada. São adicionados 3mL de solução inibidora (uma mistura de KI, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> e NaOH) a cada amostra das seringas para precipitação do sal de ferro, em seguida, essa solução é centrifugada e filtrada, utilizando um filtro com membrana *durapore* (0,22 µm) acoplado na seringa para remoção total do Fe(OH)<sub>2</sub>. Os filtrados obtidos são analisados em um TOC da Analytik Jena. Modelo multi N/C 3100. Este equipamento de análise permite obter dados bastante precisos quanto ao carbono orgânico total (COT).

## 4- Resultados e Discussão

### 4.1- Efeito do Tipo do Processo

Com o intuito de verificar a eficiência do reator quanto ao tipo de processo utilizado e, assim, estudar o reator quanto à sua aplicação e capacidade de degradação de efluentes contendo poluentes orgânicos, foram realizados experimentos de degradação de 100 mgC/L de fenol, em meio aquoso, usando 4 tipos diferentes de processos oxidativos avançado: foto-Fenton (Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV), Fenton (Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e fotólise, de acordo as condições operacionais apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Condições operacionais para os ensaios comparativos dos tipos de processos utilizados na degradação de 100mgC/L de fenol em meio aquoso.

Exp.	Teste do reator			Pôtença (lâmp.)	Volume Total
	[Fe II]	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]	[Fenol]		
Foto-fenton	1 mM	100 Mm	100 mgC/L	160 W	3,5L
Fenton	1 mM	100 mM	100 mgC/L	0 W	3,5L
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0 mM	100 mM	100 mgC/L	160 W	3,5L
Fotólise	0	0	100 mgC/L	160 W	3,5L

Os resultados obtidos com estes experimentos estão apresentados na Tabela 4.2, em termos de carbono orgânico total (COT) para cada tipo de processo utilizado.



Tabela 4.2. Resultados dos experimentos da degradação do fenol em meio aquoso para cada tipo de processo (em mgC/L).

Tempo (min)	COT mgC/L			
	Foto-fenton	Fenton	UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fotólise
0	96,56	105,94	90,09	95,31
5	64,71	74,57	89,01	93,04
15	21,73	83,96	88,54	92,78
30	13,76	72,99	87,43	92,70
60	9,34	68,91	85,97	91,88
90	8,96	69,17	85,41	89,48
120	7,03	64,97	85,37	88,80
180	6,94	59,53	84,94	88,02

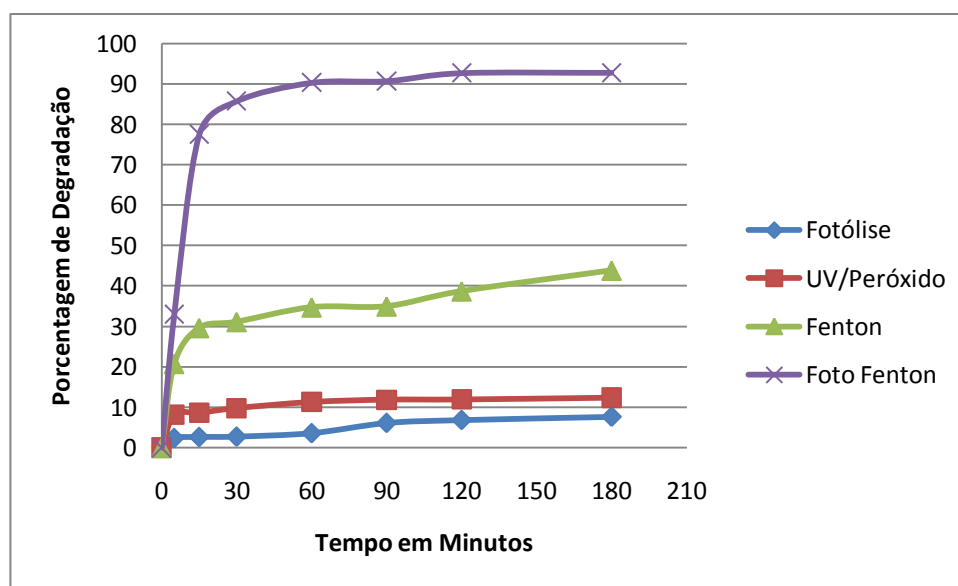


Figura 4.1. Comparação dos processos de Fenton, foto-Fenton, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e Fotólise na degradação do fenol em meio aquoso, em termos de porcentagem de degradação de COT por tempo em minutos.

Observa-se pela figura 4.1 que na reação UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a degradação é pequena, isso acontece devido o comprimento de onda da lâmpada de luz negra, entre 400 e 600 nm, o que é inadequado para formar radicais hidroxila no processo UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, segundo Herrera et al. (1998), seria necessário um comprimento de onda abaixo de 300 nm para haver decomposição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> com luz. Possivelmente a baixa de COT, cerca de 12%, acontece por causa da difusão do fenol no ar, visto que, durante o experimento percebe-se um cheiro característico de fenol.

Na reação com reagente de Fenton o (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e Fe<sup>2+</sup> na ausência de luz ) há uma taxa de degradação elevada nos primeiros 15 minutos, mas que depois cai. Neste caso o

$\text{Fe}^{2+}$  é oxidado pelo peróxido a  $\text{Fe}^{3+}$  formando um radical hidroxila, o que justifica a degradação nos primeiros 15 minutos. No momento em que todo o  $\text{Fe}^{2+}$  reage formando  $\text{Fe}^{3+}$  interrompendo a formação de radicais hidroxila, o que justifica a estabilização da decomposição no decorrer da reação.

No processo Foto-Fenton o  $\text{Fe}^{2+}$  é oxidado pelo peróxido a  $\text{Fe}^{3+}$ , parte do  $\text{Fe}^{3+}$  que não forma complexo com o poluente orgânico, é regenerado por fotólise sob radiação UV a  $\text{Fe}^{2+}$  liberando radicais hidroxila e dando continuidade ao ciclo. Justificando, assim, a maior porcentagem de degradação 92%.

#### 4.2- Efeito da Presença de Cloreto

Segundo Amilcar (2007), os íons cloreto interferem na reação de Fenton e foto-Fenton, pois os íons cloreto “capturam” os radicais hidroxilas.



Sabendo que a água que acompanha o petróleo é rica em íons incluindo os íons  $\text{Cl}^-$ , analisamos a água de produção captada após o SAO (separador água-óleo), e obtivemos a concentração de  $\text{Cl}^-$  presente nesse efluente, esse valor está entre 880 e 900 mG/L de  $\text{Cl}^-$ . Em seguida fizemos testes no reator lâmpada onde comparamos o desempenho da reação foto-Fenton usando o fenol como poluente modelo na presença de íons cloreto.

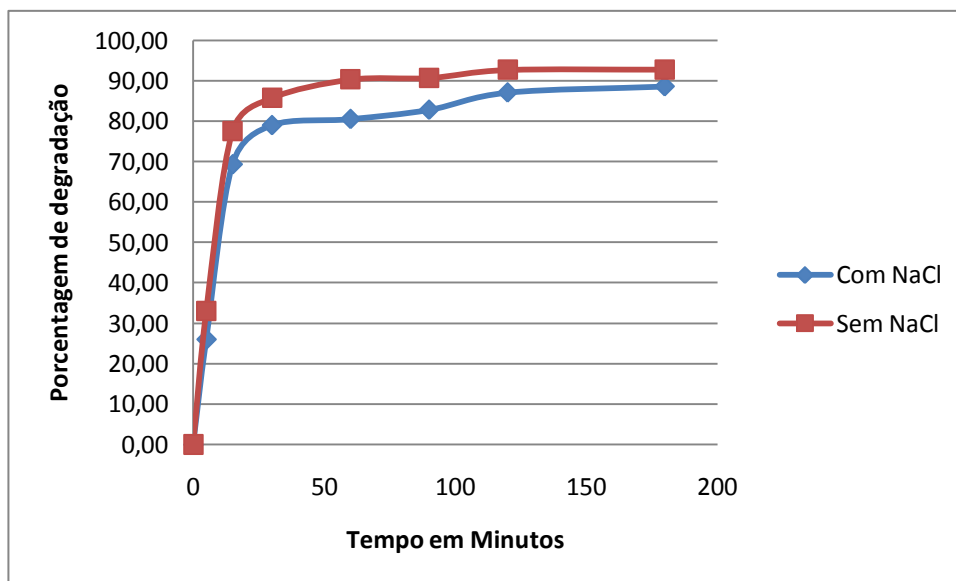


Figura 4.2 Desempenho do processo foto-Fenton, na presença de íons cloreto (■) e na ausência (◆).

Observa-se pela Figura 4.2, uma sutil diminuição do desempenho da reação de foto degradação, após 3 horas o meio reacional que continha NaCl apresentou uma redução de TOC de 88,5%, enquanto o meio que não continha o sal apresenta degradação de TOC na casa dos 92%. A inibição por cloreto é pequena, devido a permanência do pH do meio reacional em torno de 3,0 Amilcar (2007). No entanto, Airton (2005) realizou experimentos onde uma quantidade de 6 g/L de NaCl interferiu consideravelmente na degradação de compostos organoclorados.

#### 4.3- Teste do Reator Solar

Como já foi dito, os processos oxidativos avançados estão em desvantagem, quando comparados a processos de tratamento biológicos e físico-químicos, devido aos

custos operacionais. Visualizando uma redução de custos considerável, realizamos testes de degradação de um efluente contaminado por fenol utilizando a luz solar como fonte de energia para ativação da reação foto-Fenton, esse resultado foi comparado com a reação realizada no reator lâmpada nas mesmas condições, exceto o controle de temperatura, nos dois casos foram usadas 4 calhas refletoras.

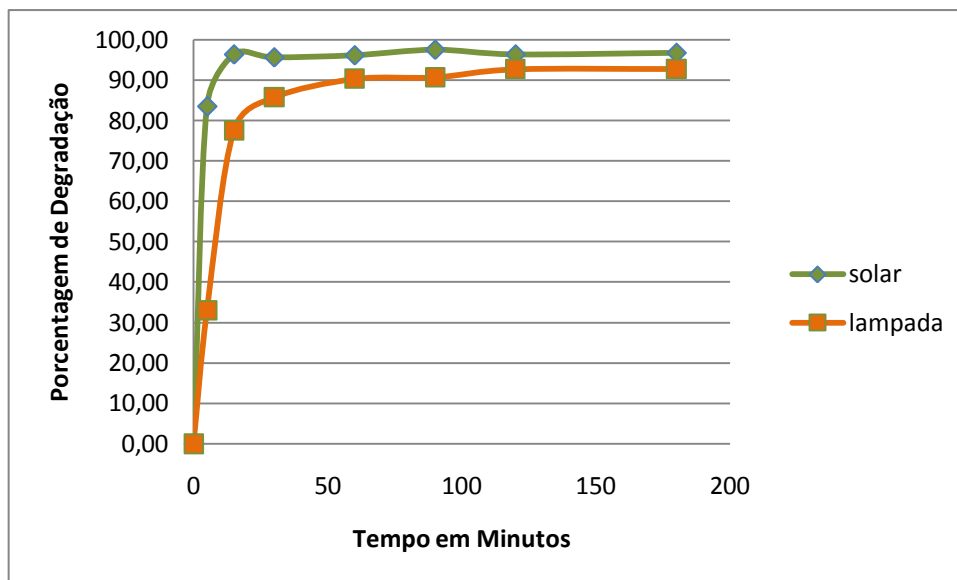


Figura 4.3. Desempenho do processo foto-Fenton, na no reator lâmpada (■) e no reator solar(♦).

A Figura 4.3 mostra que a reação onde a fonte de fótons é o sol, é mais rápida, a degradação aos 15 minutos de reação é superior a 80 % enquanto no processo que acontece no reator lâmpada a degradação só chega aos 80% após 30 minutos de reação. Além disso, a reação foto-Fenton solar mostrou-se mais eficiente do que a reação no novo reator lâmpada, o processo solar obteve uma degradação de 96% contra 92% do processo em luz negra.

#### 4.4- Influência da quantidade de lâmpadas

A Figura 4.4, retrata a influência da quantidade de lâmpadas no desempenho da reação foto-Fenton. Os testes foram feitos com um volume de 3.5L de efluente, poluído com fenol variando a quantidade de lâmpadas (calhas) em cada reação.

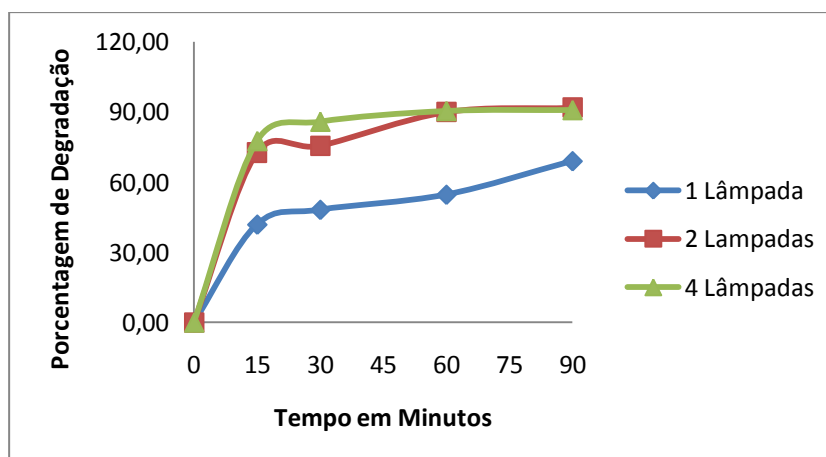


Figura 4.4. Influência da quantidade de lâmpadas no processo foto-Fenton

Quando se trata de reatores do tipo CPC (calha e tubos) uma variável interessante é a área irradiada necessária para promover a redução do  $\text{Fe}^{3+}$  em  $\text{Fe}^{2+}$ , neste experimento cada lâmpada (calha) representa uma área irradiada de  $17,2 \text{ cm}^2$ . Quando a área irradiada é de  $17,2 \text{ cm}^2$  (1 lâmpada), a formação de radicais hidroxila acontece devido a reação de Fenton, no entanto a regeneração do  $\text{Fe}^{2+}$  é lenta e ao final de 90 minutos de reação a degradação de TOC é de 68%. Dobrando a área irradiada observa-se um aumento significativo na velocidade da reação que aos 60 minutos chega a 90 % de degradação. Na reação utilizando 4 lâmpadas ( $68,8 \text{ cm}^2$  de área irradiada) observa-se uma saturação de fótons na reação, ratificando que uma área de irradiação entre  $34,4$  e  $68,8 \text{ cm}^2$  é suficiente para o tratamento de 3.5 litros de efluente através do processo foto-Fenton com  $[\text{Fe}^{2+}]$  de  $1 \text{ mM}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  de  $100 \text{ mM}$  e  $100 \text{ mgC/L}$ . Lembrando que cada lâmpada tem a potência de  $40 \text{ W}$ .

#### 4.5- Teste Utilizando Água de Produção da Fazenda Belém

Testes Preliminares realizados com água de produção real captada em Fazenda Belém após os filtros de areia, mostram a eficiência do novo reator fotoquímico na degradação do COT contido na água de produção. Esta água apresentou um COT inicial em torno de 260, e TOG em torno de 15.

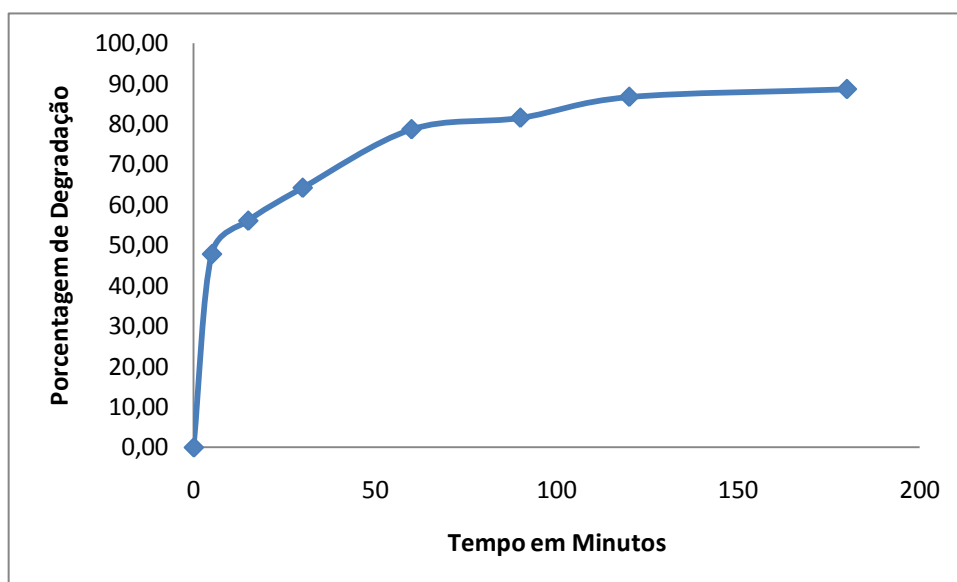


Figura 4.4. Teste preliminar com água de produção da Fazenda Belém

Esse teste foi realizado no reator lâmpada com 4 calhas ( $160 \text{ W}$  de potência), a reação foto-Fenton aconteceu nas condições de:  $[\text{Fe}^{2+}]$  de  $1 \text{ mM}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  de  $100 \text{ mM}$  e 6 litros de efluente. A degradação ao fim de 3 horas de reação foi de  $88,5 \%$ .

## 5- Conclusões

A configuração do reator se mostrou bastante propícia à aplicação industrial devido ao seu fácil procedimento operacional e simples montagem. Além disso, o uso das lâmpadas fluorescentes resulta em uma importante economia do ponto de vista de preço unitário e demanda energética quando comparado com as fontes artificiais usuais de radiação UV (lâmpadas de vapor de mercúrio de média e alta pressão). O desenvolvimento deste novo reator fotoquímico representa uma grande conquista para o

projeto, pois se trata de um reator, em escala piloto, para aplicação industrial, como plantas de tratamento de águas residuais de refinarias ou mesmo plantas de tratamento de águas produzidas em campos de petróleo. A versatilidade deste reator e a possibilidade de se aliar a um tratamento biológico e a um tratamento utilizando luz solar, como um mecanismo híbrido, que possibilita a recuperação e o reuso destas águas.

Os resultados obtidos mostraram que o novo reator fotoquímico apresentou um desempenho excelente na fotodegradação do fenol utilizando o processo foto-Fenton. Este processo foi significativamente o mais eficiente dentre os processos estudados (Fenton e  $H_2O_2/UV$ ), obtendo índices de degradação de 92% da carga orgânica inicial (fenol). A presença de cloreto em concentrações semelhantes a da água de produção real pouco influencia na degradação da carga orgânica. A reação utilizando luz solar como fonte de energia mostrou-se tão eficiente quanto a que reação realizada sob luz negra, isso se dá devido o comprimento de onda de ambas as fontes de energia estarem na faixa de 300 a 510 nm, o que é suficiente para ativar a reação foto-Fenton. O teste realizado com água de produção da Fazenda Belém-Aracati-CE mostra um resultado muito animador pois houve degradação de 88.5 % da carga orgânica.

O estudo da influencia da área irradiada na geração de radicais hidroxila, mostra um dado importantíssimo para uma futura construção de um sistema em escala industrial. O sistema utilizando 2 calhas degradou a mesma quantidade do sistema com 4 calhas, com a diferença deste ultimo ter um tempo de reação menor.

## **6- Referências Bibliográficas**

Amilcar Machulek Junior, Estudos Mecanísticos da Origem da Inibição da reação foto-Fenton por Cloreto, Tese de Doutorado, USP, Janeiro, 2007.

Mota, A. L. N., Desenvolvimento de um Reator Fotoquímico para Aplicação no Tratamento de Águas Contaminadas com Derivados de Petróleo, Dissertação de Mestrado, UFRN, Outubro, 2005.

Silva, D. N., Degradação Fotoquímica de Hidrocarbonetos da Gasolina em Efluentes Aquosos, Dissertação de Mestrado, UFRN, Outubro, 2002.

Luna, A. J., Degradação Fotoquímica do Fenol, 2,4-Diclorofenol e Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético em Meio de Alta Salinidade, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 2005.

Moraes, J. E. F., Aplicação do Processo Foto-Fenton na Degradação de Efluentes Industriais Contendo Poluentes Orgânicos, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 2003.

MORAES, J.E.F.; QUINA, F.H.; NASCIMENTO, C.A.O.; SILVA, D.N.; CHIAVONE-FILHO, O. (2004) Treatment of saline wastewater contaminated with hydrocarbons by the photo-Fenton process. *Eviron.Sci.Technol* 38, p.1183-1187.

THOMAS, J. E., Fundamentos da Engenharia do Petróleo, Ed. Interciência - RJ, 2001.

# **ANEXOS**



**Universidade Federal do Rio Grande do Norte**  
**Centro de Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia Química**



# **Relatório do Estágio Supervisionado**

## **Acompanhamento da Medição de Gás Natural na Bahiagás**

**Graduando: Aécio Lopes Borges**

**Professor Orientador: Dr. Edson Leandro**

**Supervisor: Rayeliton Barreto Galiza**

Setembro de 2009.

“O sabor da vitória depende da intencidade da luta.”

Autor desconhecido.



## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, um agradecimento especial a Deus, fonte de toda sabedoria, pelo inconfundível e zeloso amparo nos momentos difíceis, e que nos criou e nos abençoa diariamente com a dádiva da vida, do conhecimento e da vontade de sempre superar os desafios.

Agradeço a minha família pela compreensão e confiança depositados em mim.

Agradecemos à diretoria da Bahiagás, em particular ao gerente da GEOPE Gustavo e aos Técnicos Rayeliton, Silvio, Valdir, Nivaldo e André, que contribuíram para o êxito deste estágio.

Um agradecimento especial ao Professor Dr. Romualdo Vidal, por ter sido peça fundamental para a realização deste estágio.

Agradeço também com a mesma intensidade ao Professor Dr. Edson Leandro, por seus ensinamentos científicos, sua proficiente e inestimável orientação.

Aos meus colegas de curso Ítalla, Ana Paula, Gilmar, Rafael, Jairton, Thomás e Arthur, pelo apoio e coleguismo durante toda a graduação e por compartilharem as suas experiências de vida e profissionais, contribuindo para o nosso crescimento e amadurecimento ao longo do nosso convívio.

A todos, os mais sinceros agradecimentos.

# Sumário

<a href="#">1. INTRODUÇÃO</a>	29
<a href="#">2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</a>	31
<a href="#">2.1 O GÁS NATURAL, DEFINIÇÃO</a>	31
<a href="#">2.2 DISTRIBUIÇÃO DE GÁS EM CAMAÇARI</a>	31
<a href="#">2.3 SISTEMA INTEGRADO DE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO</a>	32
<a href="#">2.4 INSTRUMENTAÇÃO USADA NA BAHIA GÁS</a>	34
<a href="#">2.4.1 Válvulas Reguladoras de Pressão (PCV)</a>	34
<a href="#">2.4.2 Válvula de Alívio (PSV)</a>	34
<a href="#">2.4.3 Válvula de Bloqueio Automático (XV)</a>	34
<a href="#">2.4.4 Válvula LOW</a>	35
<a href="#">2.4.5 Sensor de Temperatura</a>	35
<a href="#">2.4.6 Sensores de pressão</a>	35
<a href="#">2.4.7 Medidores de vazão</a>	36
<a href="#">2.5 MEDIÇÃO DE GÁS</a>	36
<a href="#">2.5.1 Medição por Placa de Orifício</a>	37
<a href="#">2.5.2 Medição por Medidor Rotativo</a>	38
<a href="#">2.6 SUPERVISÓRIO I-FIX</a>	39
<a href="#">2.7 COMUNICAÇÃO VIA GPRS</a>	40
<a href="#">3. ATIVIDADES REALIZADAS</a>	42
<a href="#">3.1 Utilização do SIEM</a>	42
<a href="#">3.2 Revisão da Planilha de Cadastro de Equipamento</a>	42
<a href="#">3.3 Acompanhamento de Manutenções</a>	42
<a href="#">3.4 Acompanhamento de Alinhamento de Estações</a>	42
<a href="#">3.5 Acompanhamento de Inertização de Gasoduto</a>	43
<a href="#">3.6 Participar da Troca de Correntes de Gás</a>	43
<a href="#">3.7 Melhorias Propostas no Ponto de Medição de Manati</a>	44

<a href="#">3.8 Estudar e Acompanhar a Medição de Gás da Empresa</a> .....	45
<a href="#">3.9 Participar do Projeto de Automação na Entrada 1 da Braskem</a> .....	46
<a href="#">4. CONCLUSÕES</a> .....	47
<a href="#">5. REFERÊNCIAS</a> .....	48
<a href="#">6. ANEXOS</a> .....	49

## RESUMO

Este relatório tem como objetivo descrever as atividades realizadas pelo aluno Aécio Lopes Borges, do curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, durante o período do seu Estágio Supervisionado realizado na companhia de gás da Bahia - BAHIAGÁS, dentre as sedes existentes no estado da Bahia, localizado no pólo petroquímico de Camaçari, no setor de operações, com uma carga horária total de aproximadamente 720 horas, sendo supervisionado pelo Técnico Rayeliton Galiza e coordenado pelo professor Dr. Edson Leandro do Departamento de Engenharia Química da UFRN. A disciplina de Estágio Supervisionado é de fundamental importância para o aluno, pois faz com que ele aplique na prática os conhecimentos teóricos adquiridos na universidade, além de prepará-lo para encarar o mercado de trabalho. Durante o Estágio Supervisionado, o aluno, além de participar do dia-a-dia da empresa, pode adquirir conhecimentos não só para o trabalho como também para sua vida.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a Bahia figura entre os estados pioneiros na utilização do gás natural. Registros da Petrobras UN-BA comprovam seu uso na região do Recôncavo baiano desde 1940. O Estado tem grande tradição na utilização desse combustível, que se intensificou de forma significativa a partir de 1994, com o início das operações da Bahiagás.

A Companhia de Gás da Bahia, empresa de economia mista cujos acionistas são: o Estado da Bahia, a Petrobras e a Mitsui, foi criada pela Lei 5.555 de 13 de dezembro de 1989 com a responsabilidade de distribuição e comercialização do gás natural no Estado. A importância da Bahiagás não se resume ao seu porte: quarta maior Companhia distribuidora de GN do país, contando com um quadro de 334 colaboradores de grande qualificação técnica, uma Rede de Dutos de 500 km e um faturamento previsto para este ano de cerca de R\$ 1Bilhão. O seu papel estratégico está relacionado à importância do gás natural na matriz energética do Estado da Bahia (representa 24 %, enquanto no Brasil é de 12%), sendo que 91,11% do produto comercializado se destinam ao consumo industrial, fundamentalmente do Centro Industrial de Aratu e do Pólo Petroquímico de Camaçari, e destes, 54% são consumidos nas formas consideradas mais nobres, como matéria-prima e co-geração.

No início de suas operações, a Bahiagás atendeu empresas do Pólo Petroquímico de Camaçari e Centro Industrial Aratu. Hoje, a companhia já diversificou sua carteira de clientes, distribuindo o Gás Natural para empresas de Catu, Alagoinhas, do Litoral Norte, Candeias, Salvador e Feira de Santana.

A capital baiana já recebe o produto desde 2004, quando a Bahiagás iniciou o atendimento aos domicílios baianos. Hoje, os bairros da Pituba e do Imbui já possuem rede de distribuição da Bahiagás e o crescimento da malha de distribuição é contínuo.

O Gasoduto de Feira de Santana deu início ao Plano de Interiorização da Infra-Estrutura do Gás Natural na Bahia, iniciando em 2005 a distribuição de Gás Natural na região. Inicialmente foram atendidas indústrias e postos automotivos e, com a distribuição de cerca de 50 mil m<sup>3</sup>/dia. As perspectivas

são de crescimento nos volumes distribuídos, com a ampliação da rede de distribuição no centro do município e regiões vizinhas, como Santo Amaro.

A Bahiagás é encarregada de projetar estações de redução de pressão, construir o gasoduto, odorar e distribuir o gás nas condições da necessidade de cada cliente.

Com o objetivo de garantir os termos explícitos no contrato de venda de gás, a segurança e a continuidade da distribuição a GEOPE (Gerência de Operação) é responsável por toda parte operacional da empresa a partir do start-up da estação.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O GÁS NATURAL, DEFINIÇÃO

O gás natural definido pela Lei nº. 9.478/97 é todo hidrocarboneto, que permaneça em estado gasoso nas condições normais de temperatura e pressão, que é extraído diretamente de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros. Dessa forma o gás natural é uma mistura multicomponente de hidrocarbonetos (Metano cerca de 90%, Etano 6%, Propano 1% e em menores proporções por outros hidrocarbonetos como n-Butano, iso-Butanos, iso-Pentano e C<sub>5</sub>+), inertes (N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>) e contaminantes (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e RSH) .

Podem ocorrer diversas variações na concentração dos componentes do GN em diversas regiões do mundo e até mesmo em um mesmo reservatório. Na tabela 1 é mostrada a composição de alguns poços de GN em regiões diferentes.

Tabela 1. Composição molar do gás natural extraído em diferentes regiões.

Componentes	Bacia de Campos (BR)	Guamaré (BR)	Bahia (BR)	Bolivia
Metano (C <sub>1</sub> )	89,4	83,5	88,5	90,7
Etano (C <sub>2</sub> )	6,7	11,0	9,2	6,1
Propano (C <sub>3</sub> )	2,2	0,4	0,4	1,2
Butano e Superiores (C <sub>4</sub> )	0,5	nd	nd	nd
H <sub>2</sub> S	traços	traços	traços	traços
Co <sub>2</sub>	0,3	2,0	0,6	0,5
N <sub>2</sub>	0,8	3,2	1,2	1,4
Densidade (relativa ao ar)	0,623	0,644	0,615	0,60
Poder calorífico superior (kcal/m <sup>3</sup> )	9,608	9,207	9,375	9,264

Fonte: CTGÁS

### 2.2 DISTRIBUIÇÃO DE GÁS EM CAMAÇARI

Na distribuição de gás do pólo petroquímico de Camaçari-BA, a Bahiagás recebe o gás da Transpetro na Estação de Transferência de Custódia (ETC). Na ETC chegam duas linhas de gás, o gás de Manati e o gás do

Recôncavo, estas linhas não se misturam por motivos que serão explicados a diante.

O gás do Recôncavo é medido e então distribuído aos seus consumidores.

O gás oriundo do campo de Manati passa por um sistema de coleta de óleo, chamado de bota, nesse ponto o óleo condensado que vem na linha é drenado, em seguida o gás é medido, parte do gás é odorado, onde recebe o odor característico de gás (mercaptana), e é então distribuído para os clientes.

No caminho do gás, da ETC aos clientes, existem as EDs e as ERPMs, que são as Estações de Distribuição e as Estações de Redução de Pressão e Medição, respectivamente.

As Eds são pontos onde a linha de gás é distribuída em vários ramos alguns ramos recebem odoração e o gás é distribuído aos clientes.

Uma ERPM é um conjunto de equipamentos destinados a reduzir a pressão para níveis adequados e medir o gás consumido.

### **2.3 SISTEMA INTEGRADO DE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO**

O SIEM é um programa que serve de auxílio para a equipe de manutenção, nele se encontra vários módulos com bancos de dados e programações, que dão suporte ao usuário e fornecem informações que vão de histórico de falhas ocorridas em determinado cliente a componentes e peças instaladas nas estações.

Módulos do SIEM:

Cadastro de Equipamentos: O módulo de equipamentos tem como objetivo a estruturação do processo produtivo da empresa e a centralização das informações técnicas de cada equipamento e instrumento.

Materiais e Sobressalentes: O módulo tem como objetivo o gerenciamento dos materiais sobressalentes pelo departamento de manutenção. Foi desenvolvido para atender as necessidades da manutenção e integrar-se ao sistema de suprimento das empresas.



Programação diária: O módulo realiza as programações de serviço preventivos, preditivos, inspeção, corretivos e de paradas de equipamentos. O módulo proporciona à empresa implantar uma dinâmica de trabalho definida, onde solíciantes, planejadores e executantes compartilham de uma mesma ferramenta de trabalho, que de forma automática distribui e organiza a programação dos serviços.

Manutenção Preventiva: O módulo de Manutenção Preventiva está estruturado para atender as necessidades dos diversos planos de manutenção de uma empresa.

Histórico Especializado: O conceito de histórico no software SIEM tem uma visão mais ampla do que somente o histórico de equipamentos. Ele permite a inclusão de históricos (codificado e texto) em até 7 níveis hierárquicos. Pode-se fazer histórico de sistemas operacionais, malha de instrumentos, conjuntos, equipamentos, subconjuntos, sobressalentes, peças e componentes. A informação sobre falhas ocorridas nos diversos níveis, possibilita a investigação da origem dos problemas em equipamentos, componentes e peças, além de avaliar os fornecedores.

Calibração: O módulo foi desenvolvido com a finalidade de atender as exigências das normas ISO-9000 / 14000, elaborar programação e controle dos planos de calibração de instrumentos de campo, laboratório e padrões (trabalho, referência e transferência).

Paradas: Operar integrado aos demais módulos do sistema SIEM. Permite programação de até 9 paradas simultâneas com nivelamento de recursos e materiais, visualização de caminho crítico, cronograma gantt, histograma de recursos, curvas de avanço físico e risco de parada.

Estatística: O módulo de estatística tem como objetivo principal o gerenciamento dos dados e o direcionamento de novas metas, garantem ao sistema uma poderosa dinâmica no processo de gerenciamento da manutenção.

Custos: O módulo é estruturado para dar uma visão gerencial de controle dos custos da manutenção. Apresenta o custo previsto e real para despesas com homem hora (empresa e terceiros), horas extras, serviços contratados, materiais de estoque e compra direta.

Plano de Inspeção: Este módulo foi projetado para facilitar o controle dos documentos de inspeção tais como RI - Recomendação de Inspeção, documentos normativos, procedimentos, além da elaboração e controle do plano de inspeção de equipamentos.

## **2.4 INSTRUMENTAÇÃO USADA NA BAHIA GÁS**

### **2.4.1 Válvulas Reguladoras de Pressão (PCV)**

Estas válvulas são usadas para reduzir e manter a pressão de entrega do gás na faixa determinada pelo cliente ou pelo projeto do gasoduto. Podem ser auto reguladas ou pilotadas.

No acionamento direto (auto reguladas) a abertura da válvula é obtida pelo equilíbrio entre as forças que atuam no conjunto mola-diafragma. Já o piloto é um dispositivo secundário que permite um controle mais preciso do perfil de pressão.

### **2.4.2 Válvula de Alívio (PSV)**

Válvula destinada a aliviar o excesso de pressão da rede de distribuição, sem interromper o fluxo de gás. As válvulas tipo PSV normalmente atuam quando a temperatura ambiente está alta e o gás expande aumentando assim a pressão da linha.

### **2.4.3 Válvula de Bloqueio Automático (XV)**

As válvulas shut-off são dispositivos de segurança projetadas para interromper o fluxo de gás quando a pressão de operação alcançar valores superiores aos considerados seguros para a estação.

Essas válvulas uma vez acionadas só podem ser rearmadas manualmente.

#### **2.4.4 Válvula LOW**

A função de uma LOW (ESDV-Emergency Shutdown Valve) é bloquear o fluxo de gás caso se identifique uma queda de pressão à jusante dela. Assim, em caso de um rompimento no gasoduto, o sistema de comando pneumático detecta a queda de pressão a jusante da ESDV e atingido o set de pressão baixa injeta o gás a montante dela no atuador, que bloqueia a passagem evitando que a avaria no gasoduto cause um acidente de grandes proporções.

#### **2.4.5 Sensor de Temperatura**

Temperatura é uma das variáveis mais importantes na indústria em geral, e no segmento de gás uma boa medição de temperatura se faz necessária para correção do volume de gás medido, ou seja, interfere diretamente no faturamento da empresa.

Na Bahiagás o instrumento de medição de temperatura é o Pt 100, assim chamado por possuir elemento de platina e resistência padronizada de 100  $\Omega$ . a 0 °C, o Pt 100 é o termo resistor mais empregado em todo o mundo, devido à sua estabilidade, repetibilidade, precisão e ampla faixa de operação ( - 40 a 850 °C) .

#### **2.4.6 Sensores de pressão**

Os indicadores de pressão (PI's) mais comuns são aparelhos que permitem acompanhar a pressão na linha de maneira mecânica e sem comunicação com outros aparelhos, são manômetros do tipo Bourdon.

Os PIT's (transdutores, indicadores de pressão) são sensores capacitivos que identificam a pressão estática da linha e comunica com o sistema supervisorio ou computador de vazão, sua faixa de trabalho varia de acordo com o fabricante e com o processo a qual ele está ligado.

Os PDIT's (transdutores, indicadores de pressão diferencial), são utilizados para medir a diferença (delta) de pressão entre dois pontos, são

muito úteis na indústria de gás, pois permitem medir o volume de gás que passa por um estrangulamento (placa de orifício).

#### 2.4.7 Medidores de vazão

Dentre os medidores de vazão existentes, os mais usados na empresa são os do tipo lóbulos rotativos, diafragma, turbina e placa de orifício. Para se definir o tipo de medidor a ser usado deve-se levar em consideração as variáveis: pressão, temperatura do gás e demanda de vazão do cliente e o limite de erro tolerável.

### 2.5 MEDIÇÃO DE GÁS

Na medição de vazão de gás natural, os sistemas de medição são divididos basicamente em três partes: elemento primário, elemento secundário e elemento terciário.

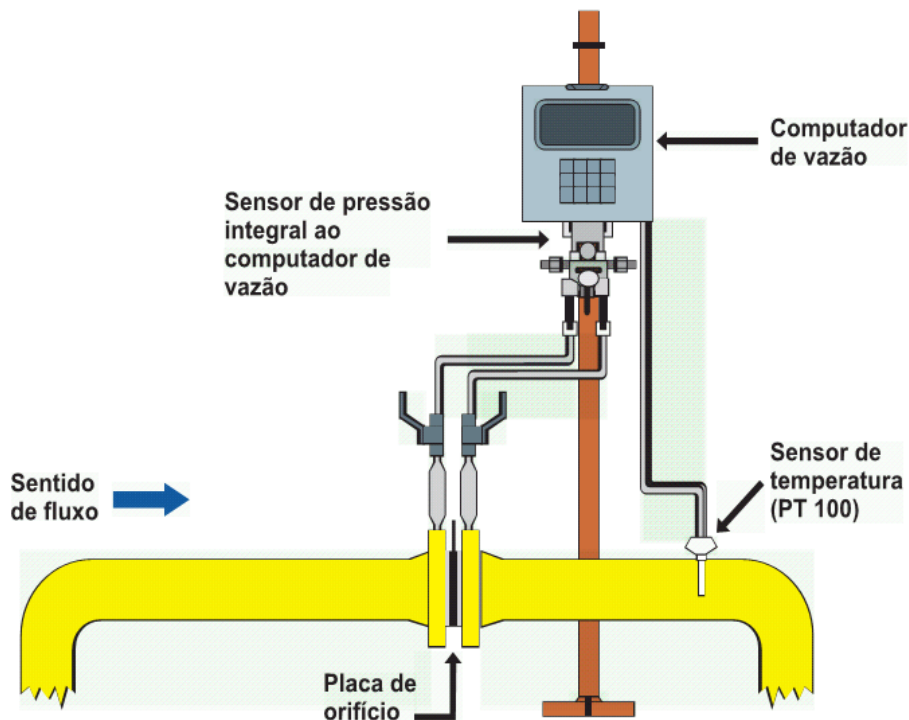


Fig. 1- Sistema de Medição por Placa de Orifício

O elemento primário se refere ao tipo de medidor ou conceito usado na medição. Podemos citar como exemplos de elementos primários as placas de orifício, modidores tipo turbinas, medidor corioles, medidor rotativo, medidor ultra-sônico, entre outros.

Os elementos secundários fazem a medição e fornecem grandezas como pressão, temperatura e densidade ao elemento terciário. Os transmissores de pressão e temperatura são exemplos básicos de elementos secundários de medição.

O elemento terciário corresponde ao computador de vazão que, conforme a NBR 14978, é um computador eletrônico, programado para calcular corretamente a vazão dentro de limites especificados, e que recebe informações dos elementos primário e secundários. Os elementos secundários podem ser integrais aos elementos terciários ou ser acondicionados separadamente em mais de um invólucro.

É no elemento terciário que estão implementadas as rotinas AGA 3, AGA 7 e AGA 8, que são normas internacionais para o cálculo de vazão. A vazão é calculada nas condições base de temperatura e pressão que são 20 °C, 1 atm e PCS base de 9400 KJ/m<sup>3</sup>.

### 2.5.1 Medição por Placa de Orifício

A placa de orifício nada mais é do que um orifício de restrição convergente divergente que gera uma pressão diferencial proporcional ao quadrado da vazão volumétrica instantânea.

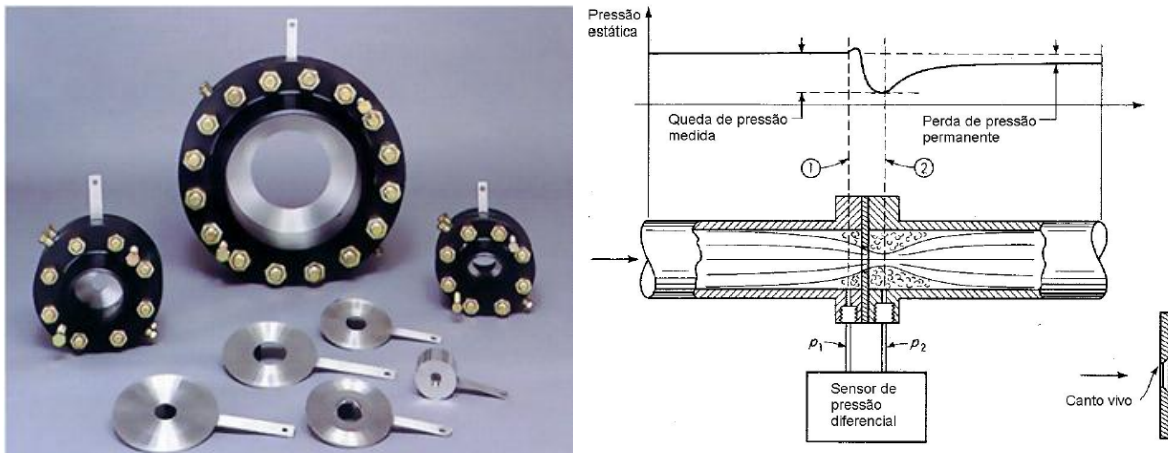


Fig. 2 e 3- Placas de Orifício e Esquema de Escoamento em Trecho com Placa de Orifício.

Fonte: CTGás

As placas de orifício concêntricas são aplicadas nas medições de líquidos limpos e de baixa viscosidade, da maioria dos gases e do vapor d'água

em baixa velocidade. Devido o baixo custo de sua implantação é muito usada industrialmente e sua medição é aceita legalmente para transferência de custódia (AGA 3).

O fluido sempre que passar pelo orifício deve estar com perfil de velocidade completamente desenvolvido, para isso se usam trechos de medição e retificadores de fluxo com tamanhos variáveis e proporcionais diâmetro do duto.

Sendo assim a vazão instantânea no trecho de medição é dada pela seguinte equação conforme a norma AGA 3:

$$Q_V = C_d \cdot E_v \cdot Y \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$$

Onde:

$Q_v$ : vazão volumétrica;

$C_d$ : coeficiente de descarga;

$E_v$ : fator velocidade de aproximação;

$Q_v$ : vazão volumétrica;

$d$ : diâmetro do orifício de restrição;

$\Delta P$ : pressão diferencial;

$\rho$ : densidade do gás

### 2.5.2 Medição por Medidor Rotativo

Este tipo de medidor aciona propulsores (rotores) internos de maneira que a sua velocidade de rotação será proporcional a velocidade do fluido através da câmara de medição.

Os rotores lobulares são os mais utilizados em medição de gases. Estes dispositivos possuem dois rotores com movimentos opostos e com posição fixa em uma estrutura cilíndrica, como mostra a figura abaixo.

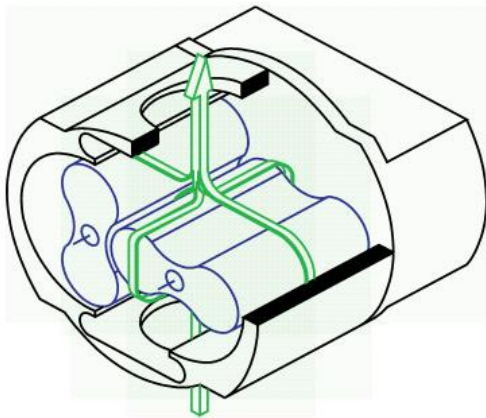


Fig. 4 Medidor de Vazão do Tipo Rotativo

O cálculo da vazão é obtido pela seguinte equação:

$$Q_b = Q_f \frac{P_f}{P_b} \cdot \frac{T_b}{T_f} \cdot \frac{Z_b}{Z_f}$$

Onde:

$Q_b$ : vazão volumétrica nas condições base;

$Q_f$ : volume medido;

$P_f$ : pressão absoluta de escoamento;

$T_f$ : temperatura de escoamento;

$Z_f$ : fator de compressibilidade nas condições de escoamento;

$P_b$ : pressão de base (1 atm);

$T_b$ : temperatura de base (20°C);

$Z_b$ : fator de compressibilidade nas condições base.

## 2.6 SUPERVISÓRIO I-FIX

O iFIX é um software de automação industrial que fornece dados em tempo real para monitoração, controle e para outros aplicativos. As funções básicas do iFIX são:

Aquisição de dados: Comunicação direta com dispositivos de entrada/saída da planta, interface com dispositivos de hardware através de pontos de entrada/saída.

Gerenciamento de dados: Habilidade de processar e manipular dados adquiridos, abrange componentes de monitoramento do processo (representação gráfica), controle supervísório, alarmes, relatórios e armazenamento de dados.

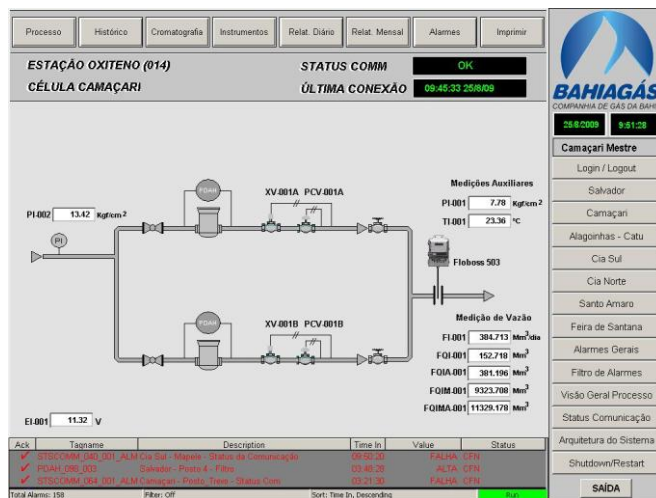


Fig. 5- Interface do Sistema Supervísório I-FIX.

## 2.7 COMUNICAÇÃO VIA GPRS

Uma rede de comunicação via GPRS é constituída pelos seguintes elementos: Gateway (ou Host), A2A Remoto (A2AR), e equipamento Alvo (Alvo ou Target). A quantidade de Gateways, A2ARs e Alvos presentes em uma RA2A pode ser estendida até um determinado limite.

O Gateway, em uma RA2A, é um processo (A2A Host) executado dentro de um computador (sistema operacional Microsoft Windows 2000/XP) com IP fixo, cuja função é escutar uma determinada porta (TCP).

O A2AR é um computador de pequeno porte, dotado de um modem celular capaz de estabelecer comunicação com a Internet. Ele utiliza o protocolo TCP/IP e estabelece a comunicação, através do Gateway, com aplicações ou processos (programas) e até mesmo com outro A2AR. Sua principal função é receber e transmitir informações do equipamento Alvo, ligado à porta serial (RS-232), para o Host e então para os programas que queiram se comunicar com o equipamento Alvo.

Os Alvos podem ser os mais diversos equipamentos tais como: PCs, PLCs, Computadores de vazão, UTRs, medidores de energia, etc; desde que



os mesmos tenham saídas seriais, independentemente do protocolo de comunicação.

Os programas que se comunicam com o Alvo podem ser executados no computador Host ou em remotos, dependendo da arquitetura de rede escolhida.

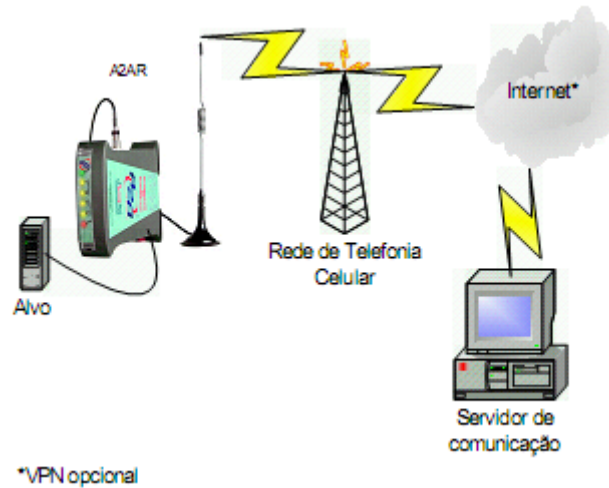


Fig. 6- Arquitetura de uma rede GPRS.

## **3. ATIVIDADES REALIZADAS**

### **3.1 Utilização do SIEM**

Constituiu no cadastro de equipamentos, lançamento de solicitações de serviço, ordens de serviço e apropriação de serviços no sistema que proporciona à empresa implantar uma dinâmica de trabalho definida, onde solicitantes, planejadores e executantes compartilham de uma mesma ferramenta de trabalho, que distribui e organiza a programação dos serviços.

### **3.2 Revisão da Planilha de Cadastro de Equipamento**

Os Formulários de Cadastro de Equipamentos são registros de informações coletadas em campo e apresentam toda a instrumentação e utilitários situados nas estações de cada cliente. O formulário que está na forma de planilha no anexo III, foi compilado a partir de informações adquiridas em visitas as estações e em conversas com os instrumentistas e operadores para se avaliar o que seria realmente importante para melhoria das manutenções preventivas e corretivas. Em seguida foi feita uma pequena apresentação aos responsáveis por coletar esses dados, para que ficasse claro cada item da nova planilha. Por fim esses dados são inseridos no SIEM e disponibilizados na rede interna da empresa.

### **3.3 Acompanhamento de Manutenções**

Nas ocasiões em que acompanhei as manutenções sejam elas preventivas ou corretivas, foi possível entrar em contato com equipamentos e aprender in loco e com profissionais de experiência, detalhes sobre a instrumentação usada na empresa. Além disso, estimula o estagiário a adquirir uma visão crítica sobre a situação.

### **3.4 Acompanhamento de Alinhamento de Estações**

O alinhamento da estação é o momento onde a empresa disponibiliza o gás para o cliente. Nessa operação é necessário garantir que não existem pendências impeditivas, que o gás será fornecido nas condições de

temperatura e pressão previamente determinadas pelo projeto e/ou cliente e também que os equipamentos de segurança estão funcionando devidamente.

Nesta etapa é realizado o teste de estanqueidade, onde a estação é submetida a uma pressão 10% maior que a pressão de trabalho para a qual ela foi projetada e essa pressão é mantida por uma hora para que se verifique em todas as conexões a ausência de vazamentos.

### **3.5 Acompanhamento de Inertização de Gasoduto**

Esta operação tem como objetivo eliminar a explosividade do trecho, permitindo a manutenção com corte e solda de forma segura.

O gasoduto a ser inertizado deve ser despressurizado. Feito isso, uma corrente de  $N_2$  é injetada no gasoduto, purgando o resíduo de metano existente no trecho, a explosividade é medida por meio de um explosímetro que ao indicar explosividade igual a zero dá condições seguras para trabalhar com solda.

### **3.6 Participar da Troca de Correntes de Gás**

Visando aumentar a venda de gás para um dos nossos grandes clientes a direção da empresa solicitou que a equipe de operação planejasse e executasse manobras operacionais que dariam condições de atender tal demanda.

Até o momento a Bahiagás recebia gás da Transpetro, na ETC-Camaçari, por dois pontos, o ramal Outros Campos, que recebia gás processado em UPGN a uma pressão em torno de 23 Kgf/cm<sup>2</sup> e vazão na casa de 350.000 Nm<sup>3</sup>/dia, esse gás apresenta baixo teor de  $N_2$  e PCS na casa de 9.000 Kcal/m<sup>3</sup> e o ramal Manati que recebia gás não processado, a uma pressão em torno de 22 Kgf/cm<sup>2</sup> vazão de aproximadamente 2.000.000 Nm<sup>3</sup>/dia com teor de  $N_2$  maior que o de Outros Campos e PCS menor.

Entrei na equipe com a missão de calcular o tempo de chegada de gás não processado na ED, pois um dos clientes que estavam na linha desse gás não poderia receber gás com alto teor de  $N_2$ .

Foram feitas verificações nas pressões e vazões dos clientes, reuniões com os envolvidos na operação para esclarecer o que iria ser feito, contato com os clientes para avisar de possíveis quedas de pressão na linha, visitas as estações de distribuição para identificação das válvulas que iriam ser manobradas e edição de uma IO (Instrução Operacional) que orientava o que deveria ser feito na operação.

A manobra foi bem sucedida e possibilitou um aumento significativo no faturamento da empresa.

### 3.7 Melhorias Propostas no Ponto de Medição de Manati

No decorrer do estágio a Gerência de Operações foi surpreendida pela chegada constante de líquido condensado no ponto de medição do gás de Manati, a quantidade de líquido que chegava a nossa estação era proporcional ao consumo dos clientes, visto que à medida que a vazão no gasoduto aumenta a velocidade do gás também aumenta, aumentando o arraste de líquido. Tal evento trazia consigo diversos transtornos, pois parte do líquido era retido na bota de coleta de líquido, parte era retido no elemento filtrante desse ramo aumentando a perda de carga do elemento filtrante, quando isso ocorria era necessário inverter o ramo de medição, trocar o elemento filtrante e drenar o óleo depositado na bota de retenção.

Além desse deslocamento de H/H (Homem-Hora), a atividade era extremamente perigosa, pois a descompressão do trecho de medição liberava uma boa quantidade de gás para o ambiente.

O volume de gás liberado para atmosfera a cada troca de ramo pode ser simplificado pela equação abaixo com um  $V_t$  de  $1,86 \text{ m}^3$ ,  $P_f$  variando em torno de  $23 \text{ kgf/cm}^2$ , temperatura de escoamento de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$   $Z_b$  e  $Z_f$  iguais a  $0,9963$  e  $0,9577$  respectivamente.

$$V_b = V_t \cdot \frac{P_f}{P_b} \cdot \frac{T_b}{T_f} \cdot \frac{Z_b}{Z_f}$$

O que corresponde a um volume na faixa de  $44 \text{ Nm}^3$ . Para vias de comparação este valor é o equivalente ao consumo mensal de dois apartamentos comuns com fogão e aquecedor.

Lembrando que essa operação era realizada ao menos 5 vezes por semana, muito gás é liberado a atmosfera, prejudicando o meio ambiente e envolvendo os colaboradores numa situação perigosa.

A falta de estrutura para receber o óleo que chegava a bota de coleta trazia também prejuízos ao solo, pois parte do óleo respingava no chão no momento da coleta o que caracteriza um crime ambiental passível de multas por parte dos órgãos ambientais.

Coordenei uma equipe para a construção de um dique de coleta embaixo da bota o que acabou com o problema do óleo caindo diretamente no chão. O problema pode se melhor visualizado nos anexos I e II.

Para o problema da emissão de GN na atmosfera acionamos a GEPRO (Gerencia de Projetos) da Bahiagás para que eles fizessem o projeto de um separador gás-óleo automatizado o que encerraria a necessidade de inversão de ramo.

### **3.8 Estudar e Acompanhar a Medição de Gás da Empresa**

A medição de gás é o setor mais importante do ponto de vista financeiro da empresa, é a partir das informações da medição que a empresa fatura, e uma medição pouco confiável pode trazer grandes prejuízos.

Fiquei responsável por acompanhar o faturamento em um dos ramos de gás. O ramo de Outros Campos, pois nele havia uma diferença considerável entre o que era medido no momento da transferência de custódia entre Transpetro e Bahiagás e o que estava sendo medido em todos os clientes que recebiam gás desse ramo.

Foi elaborado um plano de ação com as seguintes metas:

- Estudar os históricos de vazão e pressão para avaliar correlações entre suas variações;
- Levantar os croquis e plantas das estações para verificar quais válvulas poderia estar dando passagem;
- Verificar as posições de abertura e/ou fechamento, das válvulas e também verificar se nas que estavam fechadas existia emissão de ruído;
- Checar a calibração dos instrumentos dos clientes e da ETC.

Para nossa sorte, quando levantamos os gráficos das variações de consumo e variações de pressão nos ramos de Manati e Outros Campos, verificamos que quando as pressões de ambos os ramos estavam semelhantes os erros nas medições eram diminuídos. Isso era um forte indício de que existia uma passagem de gás do ramo de Outros Campos para o ramo de Manati.

Levantamos as hipóteses de quais válvulas poderiam estar dando passagem e encontramos duas válvulas que não estavam completamente fechadas.

Fechamos as válvulas e a partir desse dia os valores medidos na estação Transpetro, na nossa ETC e nos clientes voltaram a ser semelhantes.

### **3.9 Participar do Projeto de Automação na Entrada 1 da Braskem**

A Braskem Insumos Básicos é o maior cliente da Bahiagás, no entanto, por motivos diversos, essa estação não tem comunicação com a sala de controle, sua leitura de consumo é incluída na rotina operacional e um colaborador da empresa visita a Braskem diariamente para coletar o consumo diário no visor do PLC.

No último mês de estágio o material licitado para instalação do sistema de comunicação Braskem-Bahiagás via GPRS chegou, e participei deste projeto programando as atividades e coordenando as equipes de montagem e sintonia de sinal. Infelizmente por motivo de greve na contratada responsável instalação dos instrumentos e eletrodutos não finalizamos o trabalho.

Essa melhoria trará um conforto não só aos operadores de turno, que não precisarão se deslocar a tal empresa diariamente, como também aos operadores da sala de controle que terão uma visão “full time” do comportamento do cliente.

## 4. CONCLUSÕES

A oportunidade de realização de estágio na Bahiagás, desenvolvendo um projeto de caráter multidisciplinar, no maior pólo petroquímico da América Latina, me concedeu novas visões técnicas.

O período em que passei operando o SIEM me deu informações que revelaram várias oportunidades de ganhos, as quais se tornaram em sugestões para as equipes de projeto e operacionais, me proporcionando conhecimentos nas áreas de medição, odoração, instrumentação e automação.

A elaboração da Ficha de Cadastro de Equipamentos concedeu para a empresa a possibilidade de programar melhor as manutenções preventivas e de manter um estoque de segurança no caso de uma manutenção corretiva.

A utilização da metodologia de pesquisa no acompanhamento das medições de gás na ETC possibilitou a elucidação das diferenças nos valores medidos e por conseqüência uma melhora na confiabilidade das nossas medições, evitando prejuízos.

A integralização do estágio revela-se de grande valia, devido à experiência adquirida pela vivência do trabalho de um engenheiro, contato profissional consolidado e pela oportunidade de fazer parte de uma equipe de alto nível técnico, com a qual absorvi conhecimentos importantes na logística de distribuição de gás, operação e manutenção de estações e de gasodutos.

## 5. REFERÊNCIAS

[www.bahiagas.com.br](http://www.bahiagas.com.br)

[http://www.mfplan.com.br/informativo\\_siem.asp](http://www.mfplan.com.br/informativo_siem.asp)

Manual A2A Software Pack, AUTOMIND

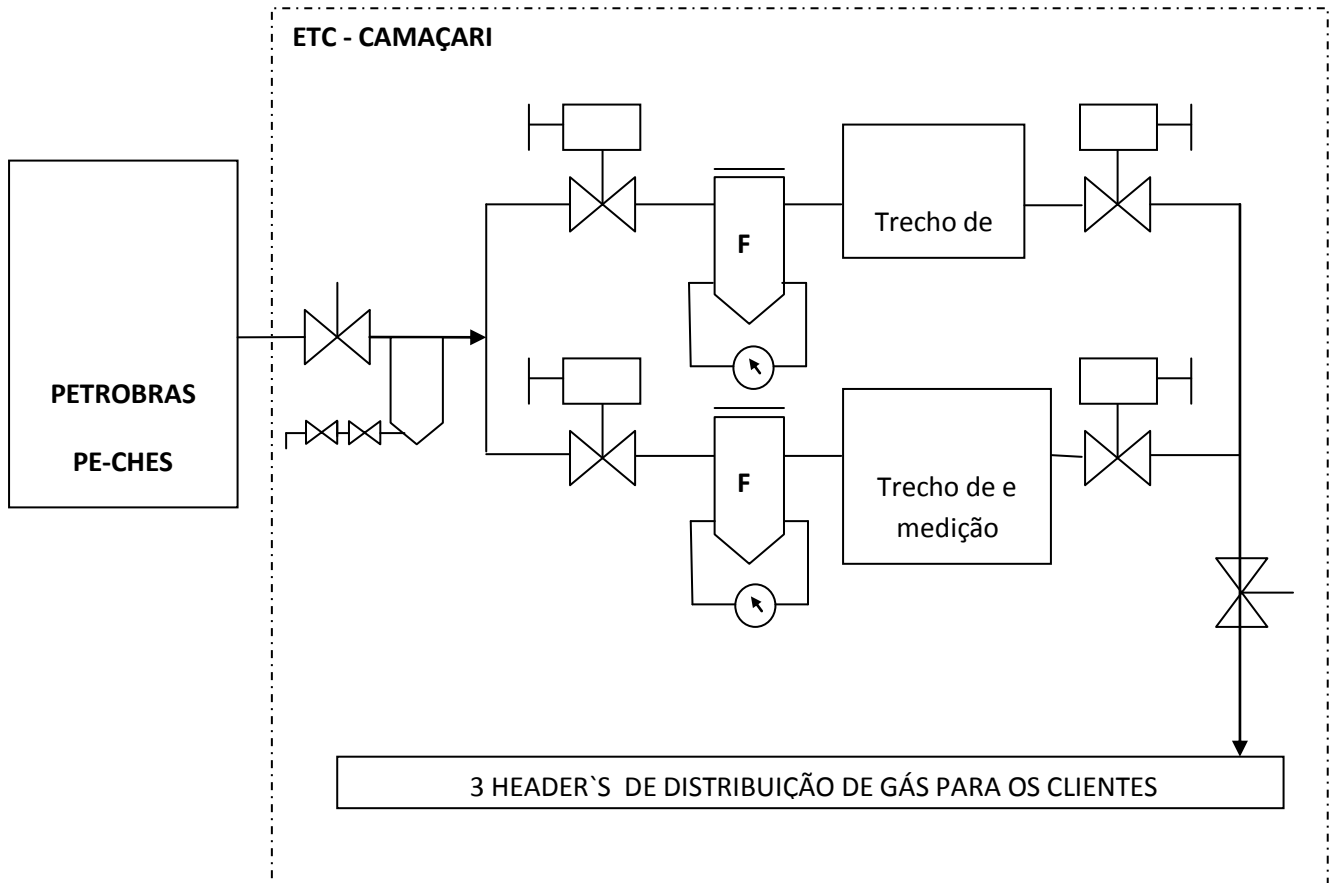
Curso de Inspeção de Medição de Gás Natural, CTGás



## 6. ANEXOS

### Anexo I

#### Esquema do Fluxo de gás de Manati entre Petrobrás e Bahiagás na ETC Camaçari.



## Anexo II

### Dique sob a bota de coleta de óleo do ramal Manati na ETC Camaçari.

Antes:




Depois:





## Anexo III

### Ficha de cadastro de equipamentos.

	<b>CADASTRAMENTO DE INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS RECEBIMENTO DE OBRAS</b>	Data:
		Emitente:
		Estação:
		TAG do Empreendimento:
<b>TIPO / CARACTERÍSTICA DA ESTAÇÃO</b>		<input type="checkbox"/> Ramo Simples <input type="checkbox"/> Ramo Simples com By-Pass <input type="checkbox"/> Ramo Duplo

#### ESTAÇÃO

Válvula Reguladora - PCV									
Ramo	Válvula	Fabricante	Modelo	N. de Série	Classe de Pressão	Diâmetro	Cor da Mola do Fechamento	BP	Restrição %
Alta	PCV <sub>1</sub>								
	PCV <sub>2</sub>								
Baixa	PCV <sub>1</sub>								
	PCV <sub>2</sub>								

Válvula de Bloqueio Automático - XV									
Ramo	Válvula	Fabricante	Modelo	N. de Série	Classe de Pressão	Diâmetro	BP	Range	Cor da Mola
Alta	XV <sub>1</sub>								
	XV <sub>2</sub>								
Baixa	XV <sub>1</sub>								
	XV <sub>2</sub>								

Válvula de Segurança e Alívio - PSV									
Ramo	Válvula	Fabricante	Modelo	BP	Classe de Pressão	Diâmetro	N. de Série	Cor da Mola	
Alta	PSV								
Baixa	PSV								

Filtro									
Ramo	Equip.	Fabricante	Modelo	BP	Classe de Pressão	Diâmetro	N. de Série		
Alta	Filtro								
Baixa	Filtro								

Manômetro				
Ramo	Local de Instalação (Ex: Montante do Filtro do Ramo de Alta)	Fabricante	Range	Tag do Projeto

Piloto					
Ramo	Válvula	Descrição do Piloto	Cor da Mola do Piloto	Range	Tag do Projeto
Alta	PCV <sub>1</sub>				
	PCV <sub>2</sub>				
Baixa	PCV <sub>1</sub>				
	PCV <sub>2</sub>				

**CADASTRAMENTO DE INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS  
RECEBIMENTO DE OBRAS**

**Transmissor de Pressão**

Equipamento (Ex:PIT, PT, PDIT, PDS)	Fabricante	Modelo	Nº de Série	BP	Tag do Projeto

**Medição de Vazão**

Equipamento	Fabricante	Modelo	Nº de Série	Diâmetro ou Beta	BP	Tag do Projeto
FE (Mecânico)						
FQI (Eletrônico)						
P. de Orifício						
Sensor Temp.						

**Chapéu de bruxa**

Local de Instalação	Diâmetro	Classe de Pressão	Fabricante	Tag do Projeto

**Orifício de restrição**

Local de Instalação	DE	DI	Beta	Fabricante	Tag do Projeto

**Outros**

Ramo	Local de Instalação (Ex: Montante do Filtro do Ramo de Alta)	Fabricante	Range	Tag do Projeto

**GASODUTO / CAIXA DE VÁLVULAS**

**Gasoduto**

Nome	Tipo / Aço ou PEAD	Diâmetro	Tag do Projeto

**Caixa de Válvulas**

Ponto de Referência	Clientes(s) Impactado(s)	Tipo / Aço ou PEAD	Diâmetro	Tag do Projeto