





# PROGRAMA EQ-ANP

# Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural



# AVALIAÇÃO DA INIBIÇÃO DE SALINIDADE E FENOL EM LODOS ATIVADOS E LODOS ATIVADOS COM CARVÃO ATIVADO

Carla Sant'Anna de Oliveira

# Tese de Mestrado

**Orientadora** 

Prof. Juacyara Carbonelli Campos

Abril de 2014

# AVALIAÇÃO DA INIBIÇÃO DE SALINIDADE E FENOL EM LODOS ATIVADOS E LODOS ATIVADOS COM CARVÃO ATIVADO

## Carla Sant'Anna de Oliveira

Tese submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Aprovado por:
Prof <sup>a</sup> . Juacyara C. Campos, D.Sc EQ/UFRJ (Orientadora)
Prof. Alexandre Lioi Nascentes, D.Sc UFRRJ
Prof <sup>a</sup> Maria José de O. C. Guimarães, D.Sc. – EQ/UFRJ
Pesquisador Ysrael Marrero Vera, D.Sc CETEM

Rio de Janeiro, RJ - Brasil Abril de 2014

#### Oliveira, Carla Sant'Anna

Avaliação da inibição de salinidade e fenol em lodos ativados e processo pact ® (powdered activated carbon treatment), Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2014. XV, 102 p.

Avaliação da inibição de salinidade e fenol em lodos ativados e processo pact ® (powdered activated carbon treatment

- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2014.
   Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos.
- Respirometria.
   PACT®.
   Efluente de petróleo.
   Tese.
   (Mestrado UFRJ/EQ).
   Juacyara Carbonelli Campos I. Título.

UFRJ/EO

"Dedico essa dissertação a Deus todo poderoso, que me deu a oportunidade de estar nesta vida para contribuir de alguma forma para o mundo. Como dedico também a todos meus irmãos terrenos e espirituais. Que sejamos sempre iluminados para fazer o bem sem ver a quem! E que sempre caminhemos com a sabedoria e com o amor que Deus nos ensinou."

#### **AGRADECIMENTOS**

Ao Deus, pai soberano, que me dá forças, perseverança e paciência para seguir sempre em frente.

Agradeço a minha família, que é constituída não só por proximidades de sangue mas com muitos amigos-anjos que estão comigo no meu dia a dia. Amo muito vocês!

A minha orientadora Juacyara Carbonelli Campos que sempre foi muito dedicada, sempre me apoiou, ajudou e sendo muito compreensiva com todas as dificuldades por mim enfrentadas durantes esta etapa. Agradeço por tudo o que fez por mim.

Ao aluno Ronei Almeida, ao Técnico Leandro Matosinhos, a Pesquisadora Mariana Lemos, que juntos me ajudaram nas etapas deste trabalho de mestrado, me ajudando na parte experimental do projeto.

Aos componentes do Laboratório de Tratamento de Água e Reúso de Efluentes na Escola de Química UFRJ que me deram todo apoio e suporte, tanto nas análises quanto no apoio para prosseguir até o fim desta etapa.

Agradeço a todos que me ajudaram sempre que precisei, meus amigos em que eu pude compartilhar momentos de estresse e diversão. Principalmente Jarina, Carla Rênes, Kleby, Yuri, Maria Cláudia, Gisela, Paloma, Isabella, Rômulo, Ana Elizabete, Renata, Leila e tantos outros que sempre estiveram comigo para chorar, rir ou até mesmo para que eu descontasse todo meu estresse e mal humor!

Agradeço a minha banca examinadora pela disponibilidade, aos componentes Dr Ysrael, Prof<sup>o</sup> Dr. Alexandre e Prof<sup>a</sup> Dra. Maria José.

Agradeço também a todos os funcionários da Escola de Química.

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo – ANP – e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT, em particular ao PRH 13, da Escola de Química - Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Resumo da Tese de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências, com ênfase na área de Petróleo e Gás Natural.

# AVALIAÇÃO DA INIBIÇÃO DE SALINIDADE E FENOL EM LODOS ATIVADOS E LODOS ATIVADOS COM CARVÃO ATIVADO

## Oliveira, Carla Sant'Anna de Abril, 2014

Este trabalho teve como objetivo estudar a influência de diferentes concentrações de sal (NaCl) e de fenol no Processo de Lodos Ativados (PLA) utilizando diferentes idades do lodo (4, 8 e 16 dias) e no Processo PACT (Powdered Activated Carbon Treatment), onde carvão ativado em pó é adicionado ao tanque de aeração do Processo de Lodos Ativados. A avaliação da introdução do sal e do fenol teve como objetivo simular efluentes típicos da indústria do petróleo, como a água de produção de petróleo e efluentes de refinaria de petróleo, respectivamente. Foram avaliadas as concentrações de 0,3; 1,0 e 10 g/L de NaCl e as mesmas concentrações de fenol, separadamente. Para isso, foram construídos reatores que operaram com efluente sintético em sistema de batelada para aclimatação e operação do PLA e PACT e os experimentos com a introdução do sal ou fenol, foram realizados em reatores menores de 100 mL. Foram avaliados os parâmetros DQO (Demanda Química de Oxigênio), COT (Carbono Orgânico Total), absorbância em 254 nm (que avalia os compostos aromáticos), fenol, além da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) para 5 min e 24 h após a adição de fenol ou sal. Observou-se que a idade do lodo tem efeito importante para absorver os impactos oriundos do sal ou fenol, sendo que a idade de 8 dias obteve melhores valores de remoção e menor variação nos valores de TCO quando comparado as outras idades do lodo utilizadas, obtendo remoções de 83% e 80% para DQO e COT, respectivamente para o PLA e 97% e 83% de DQO e COT, respectivamente, para o PACT guando na presenca de 0,3 g/L de NaCl. Já para efuente adicionado de fenol, 80% e 97% de remoção para DQO e COT para o PLA, e 96% e 97% de remoção de DQO e COT para PACT. Mas podese observar que o PACT na concentração de 0,5 g/L de fenol apresenta valores muito próximos de remoção do PACT com 0,1 g/L de fenol, apresentando 92% e 86% de remoção de DQO E COT, respectivamente. Estes resultados mostraram que o PACT tem um desempenho melhor, mesmo na presença destes compostos que em elevadas concentrações podem ter efeito inibitório, pois mesmo na presença de 0,5 g/L de fenol obteve eficiências de remoção próximas ao obtidos para 0,1 g/L de fenol. E os dados respirométricos indicam que a idade do lodo de 8 dias apresenta uma menor variação dos valores de TCO mantendo a atividade do lodo sem alterações que influenciem a remoção de DQO, COT e Abs em 254 indicando que a respirometria é uma boa ferramenta para avaliar a inibição do lodo ativado.

Abstract of a Thesis presented to Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos - EQ/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science with emphasis on Petroleum and Natural Gas.

# EVALUATION OF SALINITY AND INHIBITION OF PHENOL IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS AND SLUDGE PROCESS WITH ACTIVATED CARBON Oliveira, Carla Sant'Anna de April, 2014

This work aimed to study the influence of different concentrations of salt ( NaCl ) and phenol in the Activated Sludge Process ( PLA ) using different sludge ages (4, 8 and 16 days) and the PACT Process (Powdered Activated Carbon Treatment) where powdered activated carbon is added to the aeration tank of the activated Sludge Process . The evaluation of the introduction of salt and phenol aimed to simulate typical effluent from the oil industry, like water from oil production and oil refinery effluents, respectively. Concentrations of 0.3 were evaluated; 1.0 to 10 g / L of NaCl and the same concentrations of phenol, separately. For this, reactors that operated with synthetic wastewater in a batch system for acclimation and operation of PLA and PACT and experiments with the introduction of salt or phenol were built, were performed in smaller 100 ml reactors. The COD (chemical oxygen demand), TOC (Total Organic Carbon ), absorbance at 254 nm (which assesses the aromatics), phenol parameters were assessed, and the Rate of Oxygen Consumption (TCO) for 5 min and 24 h after the addition of phenol or salt. It was observed that the sludge age has a major effect to absorb the impacts from the salt or phenol, and age 8 days showed a better removal values and smaller variation in values when compared to TCO other sludge ages used, obtaining removal of 83% and 80% for COD and TOC, respectively for PLA and 97 % and 83 % of the COD and TOC, respectively, for PACT in the presence of 0.3 g / L of NaCl. As for efuente added phenol, 80% and 97% for COD and TOC removal for PLA, and 96 % to 97 % removal of COD and TOC to PACT. But it can be seen that PACT concentration of 0.5 g / L phenol has values very close to removal PACT with 0.1 g / L phenol , with 92 % and 86 % removal of COD and TOC respectivamente. Estes results showed that PACT has better performance even

in the presence of these compounds in high concentrations can have an inhibitory effect , as even in the presence of 0.5 g / L was obtained phenol removal efficiencies obtained for close to 0, 1 g / I of phenol. And the respirometric data indicate that the sludge age of 8 days shows a smaller variation of TCO maintaining the activity of the sludge without changes affecting the removal of COD , TOC and Abs in 254 indicating that respirometry is a good tool for evaluating inhibition of activated sludge .

#### **SIGLAS**

Abs - absorvância

AP- água de produção

A/M - razão alimento/massa

CAP - Carvão Ativado em Pó

CONAMA - Conselho Nacional do Meio AMbiente

COT - Carbono Orgânico Total

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

IL 4- idade do lodo de 4 dias

IL 8- idade do lodo de 8 dias

IL 16- idade do lodo de 16 dias

IVL – Índice volumétrico de lodo

OD - Oxigênio dissolvido

PACT®- Powdered Activated Carbon Treatment

PLA - Processo de Lodos Ativados

SST – Sólidos solúveis totais

SSV - Sólidos solúveis voláteis

TCO –Taxa de Consumo de Oxigênio

TRH - Tempo de retenção hidráulica

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇAO	16
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	19
	2.1 EFLUENTES DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO	19
	2.1.1 ÁGUAS DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO	
	2.1.2 EFLUENTES DE REFINARIA	
	2.2 PROCESSO DE LODO ATIVADO	
	2.2.1 Metabolismo Da Biomassa Presente No Sistema Lo	
	Ativados 29	
	2.2.2 Parâmetros Físico-Químicos relacionados ao Sistema	de
	Lodos Ativados	
	2.2.2.1 Concentração De Substrato	
	2.2.2.2 Oxigênio Dissolvido (OD)	
	2.2.1.3. pH 32	
	2.2.1.4. Salinidade	32
	2.2.1.5. Fenol33	
	2.2.3 PARÂMETROS OPERACIONAIS	33
	2.2.4 Tratamento biológico de água de produção (AP)	36
	2.2.5 Tratamento biológico de águas de refinaria	36
	2.3 RESPIROMETRIA	
	2.4 USO DE CARVÃO ATIVADO NO REATOR BIOLÓGICO	41
	2.4.1 Carvão Ativado	41
	2.4.2 Uso do PACT® no tratamento de efluentes	42
	2.4.3 PACT® e respirometria	44
3	METODOLOGIA	45
	3.1. AMOSTRAS	45
	3.2. SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS	
	3.3. SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS COM CARV	
	ATIVADO EM PÓ (PACT®)	
	3.4. REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS PARA AVALIAÇÃO	
	ATIVIDADE BIOLÓGICA PELA RESPIROMETRIA	
	3.5. METODOLOGIAS ANALÍTICAS PARA MONITORAMENTO	
	CONTROLE DOS SISTEMAS	
4	. RESULTADOS E DISCUSSÕES	
	4.1. SIMULAÇÃO COM LODOS ATIVADOS	40
	4.1.1. Avaliação do impacto de NaCl	
	4.1.2. Avaliação do impacto de Fenol	
	4.1.2. Availação do impacto de Perior	
	4.2.1. Impactos do NaCl	
	4.2.2. Avaliação do impacto de Fenol	
	4.3. RESUMO DOS RESULTADOS	
	····· ································	

5.	CONCLUSÃO E SUGESTÕES	94
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

## **LISTAS DE TABELAS**

Tabela 1- Etapas do processo de refino do petróleo e os efluentes,
gerados 23
Tabela 2- Valores de DQO de efluente de refinaria de petróleo encontrada
na literatura24
Tabela 3 – Sedimentabilidade do lodo em esgoto doméstico 28
Tabela 4 - Características operacionais do processo de lodos ativados . 35
Tabela 5: Receita do efluente sintético para uma DQO aproximada de 1240
mg45
Tabela 6: Rresultados da área superficial e porosidade do carvão ativado
Norit47
Tabela 7: Metodologias analíticas 48
Tabela 8: Representação da TCO obtida pelas equações de retas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados 50
Tabela 9: Parâmetros físico-químicos do efluente sintético e das
diferentes idades de lodo estudadas 50
Tabela 10: Representação da TCO obtida pelas equações de retas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,3 g/L de
NaCI 51
Tabela 11: Representação da TCO obtida pelas equações de retas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 1,0 g/L de
NaCl 53
Tabela 12: Representação da TCO obtida pelas equações de retas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 10,0 g/L de
NaCl 54
Tabela 13: Remoção de DQO após testes de salinidade55
Tabela 14: Remoção de COT para os ensaios de saliniidade 57
Tabela 15:Remoção de ABS após os ensaios de salinidade 58
Tabela 16: Representação da TCO obtida pelas equações de retas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,1 g/L de
fenol61
Tabela 17: Representação da TCO obtida pelas equações de retas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,5 g/L de
fenol
Tabela 18: Representação da TCO obtida pelas equações de retas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 1,0 g/L de
fenol
Tabela 19: Remoção de DQO após testes de fenol 64
Tabela 20: Remoção de COT para os ensaios de fenol 65
Tabela 21: Remoção de ABS após os ensaios de fenol 67
Tabela 22: Remoção de fenol após os ensaios com fenol 68

Tabela 23: Representação da TCO obtida pelas equações de re	etas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 1,0 g/L	de
fenol	
Tabela 24: Parâmetros físico-químicos do efluente sintético e	
diferentes idades de lodo estudadas no Processo PACT	. 70
Tabela 25: Representação da TCO obtida pelas equações de re	∍tas
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,3 g/L	de
NaCl	
Tabela 26	
Tabela 27: Representação da TCO obtida pelas equações de re	
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 10,0 g/L	. de
NaCl	
Tabela 28: Remoção de DQO após os ensaios com salinidade	
Tabela 29: remoção de COT após ensaios com salinidade	
Tabela 30: Remoção de ABS após os ensaios com salinidade	
Tabela 31: Representação da TCO obtida pelas equações de re	
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,1 g/L	
fenol	
Tabela 32: Representação da TCO obtida pelas equações de re	
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,5 g/L	
	. 81
Tabela 33: Representação da TCO obtida pelas equações de re	
(coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 1,0 g/L	
fenol	
Tabela 34: Remoção de DQO após os ensaios com fenol	
Tabela 35: Remoção de COT para os ensaios de fenol	
Tabela 36: Remoção de ABS para os ensaios de fenol	
Tabela 37: Remoção de fenol após os ensaios com fenol	89

## **LISTAS DE FIGURAS**

Figura 1- Esquema do processo de lodos ativados com as suas variáveis.
Figura 2 - Esquema de um floco microbiano
Figura 3- Representação esquemática dos equipamentos utilizados pelo
método simplificado
Figura 4 - Efeito sobre a concentração de oxigênio dissolvido, após
adição ao lodo ativado de uma limitada quantidade de substrato 39
Figura 5 - Tipologia de curvas de respiração comumente observada 40
Figura 6: Vista esquemática da estrutura interna de uma partícula de
carvão ativado41
Figura 7: Consumo de OD na presença de efluente sintético no sistema de
lodos ativados. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas
(legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias controle
(Legenda:IL4 C, IL8 C e IL16 C)
Figura 8: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de
0,3 g/L de NaCl no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração
avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4,
8 e 16 dias (Legenda:IL4 0,3 g/L, IL8 0,3 g/L e IL16 0,3g/L)51
Figura 9: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de
1,0 g/L de NaCl no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração
avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4,
8 e 16 dias (Legenda:IL4 1,0 g/L, IL8 1,0 g/L e IL16 1,0g/L)52
Figura 10: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionado
de 10,0 g/L de NaCI no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração
avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4,
8 e 16 dias (Legenda:IL4 C, IL8 C e IL16 C)53
Figura 12: representação das análises de DQO residual após os ensaios
de controle e com salinidade54
Figura 13: COT residual após os testes com salinidade e controle 56
Figura 14: ABS residual após os ensaios com salinidade e com o controle.
57
Figura 15: Apresenta as concentrações de sal adicionadas ao sistema de
Lodos Ativados 59
Figura 16: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada
de 0,1 g/L de fenol no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração
avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4,
8 e 16 dias (Legenda:IL4 0,1 g/L, IL8 0,1 g/L e IL16 0,1 g/L)60
Figura 17: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada
de 0,5 g/L de fenol com o lodo de diferentes idades do lodo nos tempos
de 0h e 24h61

Figura 18: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada
de 1,0 g/L de fenol com o lodo de diferentes idades do lodo nos tempos
de 0h e 24h 62
Figura 19: representação das análises de DQO residual após os ensaios
de controle e com adição de fenol63
Figura 20: representação das análises de COT residual após os ensaios
de controle e com adição de fenol65
Figura 21: representação das análises de ABS residual após os ensaios
de controle e com adição de fenol66
Figura 22: representação das análises de Fenol residual após os ensaios
de controle e com adição de fenol67
Figura 23: Consumo de OD na presença de efluente sintético no
Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas
(legenda: 5 min ou 24h).Idade do Iodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda:IL4 0,1 g/L,
IL8 0,1 g/L e IL16 0,1 g/L) 69
Figura 24: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada
de 0,3 g/L de NaCI no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5
minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h). Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias
(Legenda:IL4 0,3 g/L, IL8 0,3 g/L e IL16 0,3 g/L)71
Figura 25: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada
de 1,0 g/L de NaCI no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5
minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h). Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias
(Legenda:IL4 1,0 g/L, IL8 1,0 g/L e IL16 1,0 g/L)72
Figura 26: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada
de 10,0 g/L de NaCl no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5
minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h). Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias
(Legenda:IL4 0,1 g/L, IL8 0,1 g/L e IL16 0,1 g/L)73
Figura 27: Representação da DQO residual após os ensaios com
salinidade e controle expostos ao Processo PACT74
Figura 28: Representação da COT residual após os ensaios com
sainidade e controle expostos ao Processo PACT75
:Figura 29 Representação da ABS em 254nm residual após os ensaios
com sainidade e controle expostos ao Processo PACT77
Figura 30: Análise da presença de Cloreto nos ensaios de salinidade e
controle
Figura 31: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada
de 0,1 g/L de fenol no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5
minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h). Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias
(Legenda:IL4 0,1 g/L, IL8 0,1 g/L e IL16 0,1 g/L)79
Figura 32: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada
de 0,5 g/L de fenol no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5
minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h). Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias
(Legenda:IL4 0,5 g/L, IL8 0,5 g/L e IL16 0,5 g/L)81

Figura 33: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicion	ada
de 1,0 g/L de fenol no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados	s: 5
minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h). Idade do lodo: 4, 8 e 16 d	asit
(Legenda:IL4 1,0 g/L, IL8 1,0 g/L e IL16 1,0 g/L)	82
Figura 34: Representação da DQO residual após os ensaios com fendo	ol e
controle expostos ao Processo PACT	83
Figura 35: representação das análises de COT residual após os ensa	aios
de controle e com adição de fenol	84
Figura 36: representação das análises de ABS residual após os ensa	aios
de controle e com adição de fenol	86
Figura 37: Fenol introduzido nos ensaios de fenol	88
Figura 38: Análise da presença de Fenol residual nos ensaios de feno	ol e
controle	88

## 1. INTRODUÇÃO

Toda atividade, seja produtiva ou de consumo, carece de água. O grande crescimento da população e o crescimento econômico principalmente industrial, leva a um grande consumo de água e consequentemente a uma grande geração de efluentes (MAGOSSI & BONACELLA, 2003).

Muitos destes efluentes acabam sendo destinados em corpos d'água, muitas vezes sem qualquer tipo de tratamento, o que interferem em sua qualidade, sendo esta, muito importante para determinar seu uso, como abastecimento, lavagens ou lazer.

O setor industrial pela grande produtividade acaba sendo uma das atividades de maior geração de efluentes, com uma composição muito diversificada devido a muitas etapas da produção e em especial a indústria de petróleo pela grande importância e valor de seus produtos, sendo um dos setores de maior produção econômica, e também o que apresenta efluentes mais complexos. Nestes pode-se encontrar fenóis, sulfetos, cianetos, amônia, altos valores de salinidade e grande variação de pH apresentando assim, um alto valor poluidor de mananciais, comprometendo sua qualidade (MARIANO, 2001)

Como a água é imprescindível para a vida, é muito importante que haja preocupação em relação a sua qualidade e a sua disponibilidade. Isto deve ocorrer devido à má distribuição da água potável pelo mundo, nos locais que não tem disponibilidade e que necessitam de um alto investimento no seu tratamento, o que acarreta em altos custos. Desta forma, pode vir a gerar conflitos políticos e regionais, por um país ter regiões que não tem disponibilidade de acordo com a demanda, enquanto outras regiões tem água em abundância já que é maior do que a procura (MAGOSSI & BONACELLA, 2003).

Uma das alternativas utilizadas atualmente, para o tratamento de efluentes líquidos (seja doméstico ou industrial), é o sistema de lodos ativados, que consiste em um consórcio de bactérias principalmente tendo a presença de outros microrganismos como protozoários e rotíferos, que promovem a degradação bioquímica da matéria orgânica deste efluente. Outra alternativa pode ser a introdução do carvão ativado em pó, que pode servir como auxiliar

no processo de remoção de alguns compostos que apresentam baixa biodegradabilidade ou que conferem toxicidade ao efluente, bem como a remoção de cor, amônia, poluentes refratários e matéria orgânica, além de dar estabilidade ao sistema durante choques de carga (VON SPERLING, 1997).

A associação de carvão ao sistema de lodos ativados pode aumentar a eficiência de remoção de diversos compostos, como os não-biodegradáveis, tóxicos, inibidores orgânicos, metais. Mas há também pesquisas que defendem que o incremento apenas resulta na degradação biológica causada pelo lodo ativado e a adsorção física pelo carvão ativado. O processo sinérgico existente entre o carvão ativado em pó e lodos ativados foi patenteado pela Du Pont no inicio da década de 70 e é denominado de PACT® (BORNHARDT et. al., 1997; SHER et. al., 2000).

Devido a um menor custo do processo de lodo ativado quando associado ao carvão ativado comparado a outras alternativas de tratamento e também pela menor geração de outros resíduos pós tratamento, é uma alternativa interessante. O que corrobora com as novas iniciativas de preservação e conservação do meio ambiente, e em específico no caso das águas que é um dos bens naturais de maior valor na natureza.

#### 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto da introdução de fenol e cloreto de sódio em sistemas de Lodos Ativados e Lodos Ativados com Carvão Ativado em Pó (PACT® - PowderedActivatedTreatment).

#### 1.20BJETIVOS ESPECIFICOS

- Avaliar o método de respirometria como ferramenta de avaliação da atividade do lodo
- Avaliar a influência de salinidade em diferentes concentrações no metabolismo do lodo no sistema de Lodo Ativado e no Processo PACT®.
- avaliar a influência de diferentes concentrações de fenol no metabolismo do lodo no sistema de Lodos Ativados e no Processo PACT®

- Avaliar a eficiência do tratamento biológico e do Processo PACT® após exposição à salinidade ou fenol.
- Avaliar dentre o sistema de Lodos Ativados e o Processo PACT®, o que tem melhor desempenho sobre a influência de sal ou fenol, substâncias presentes em efluentes da industria de petróleo.

Este trabalho está estruturado em sete capítulos. No segundo capitulo serão abordadas as referencias teóricas onde o trabalho foi apoiado. No terceiro capitulo serão apresentadas as metodologias aplicadas ao trabalho. No quarto capitulo, são abordados os resultados obtidos no trabalho e serão discutidos os resultados do trabalho. No sexto capítulo são realizadas as conclusões. No sétimo capítulo têm-se as referencias bibliográficas.

#### 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste item será mostrado o resultado de uma pesquisa bibliográfica relacionada aos temas propostos no item anterior. Tratando-se de um estudo de integração de processos, existindo um item sobre o Lodo Ativado e outro sobre sua associação ao carvão ativado em pó. Para abordar sua eficiência será descrito o método de respirometria, que indica a atividade do lodo presente no processo, assim como outros parâmetros importantes para determinar sua eficiência.

#### 2.1 EFLUENTES DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

A economia mundial ainda depende das indústrias de petróleo para suas atividades produtivas, sendo este tipo de indústria um dos maiores emissores de resíduos (efluentes) nos corpos d'água. Neste caso a água tem caráter de utilidade, sendo usada como uma matéria-prima auxiliar ao processo como para preparação de soluções, refrigeração ou aquecimento de equipamentos, produção de energia, dentre outras. Pela grande produção há também um grande volume de efluentes gerados com composição muito diversificada (MACHADO, 2010).

O petróleo e seus derivados têm sido um dos mais importantes poluentes, principalmente de águas, pela grande quantidade extraída e consequentemente por acidentes e/ou negligências de equipamentos e atividades relacionadas.

O tratamento de efluentes visando o seu reuso tem se mostrado uma alternativa promissora para minimizar os danos as reservas hídricas, como diminuição do consumo de água e redução também da agressão ao meio ambiente (ROCHA, 2006).

A produção de petróleo é feita em poços submarinos, o que faz com que o petróleo venha a superfície junto com água do mar, com elevado teor de salinidade que serão separados antes do petróleo ser introduzido no processo de refino. Numa refinaria há uma enorme diversidade de processos que demandam uma grande quantidade de água gerando resíduos que necessitam

de tratamento para serem descartados nos corpos hídricos. Para um tratamento eficaz tem-se que conhecer as características do efluente em questão, pois requer um planejamento que envolve estudos de tratabilidade, minimização de resíduos, além de relacionar com o objetivo final do uso desta água tratada (FLORIDO, 2001).

O petróleo bruto sofre uma série de processos onde são gerados seus derivados, muitas vezes estes sofrem também uma série de beneficiamentos para chegarem ao produto final de interesse comercial. Estes processamentos geram efluentes, apresentando diversas etapas conferindo uma grande variabilidade de composição de um efluente para o outro. Processos como destilação consomem grandes quantidades de água necessitando certa qualidade, para evitar incrustações, mas não como os padrões de água potável (MACHADO, 2010).

## 2.1.1 ÁGUAS DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

Uma das atividades mais importantes para a economia é a exploração de petróleo mundial, onde diversos processos geram derivados que também tem inúmeras aplicações no dia-a-dia da sociedade e principalmente na industria. A cada dia, devido ao aumento da produção mundial em todos os setores industriais há um conseqüente aumento da demanda da exploração de petróleo. Por conseqüência deste aumento, a exploração de petróleo vem causando diversos prejuízos ao meio ambiente, o que causa uma redução dos recursos disponíveis, inclusive para a própria exploração de petróleo (OLIVEIRA,2005; ÇAKMAKCI,2008).

As águas que são extraídas junto com o petróleo nos poços é conhecida como águas de produção. Estas águas tem uma composição muito complexa como sais orgânicos, óleos e graxas, hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, metais. No caso de águas de produção oriundas de operações *off-shore* (em plataformas marítimas) pode-se observar como característica marcante sua alta salinidade, que é expressa pela determinação da concentração de íons cloreto (Cl<sup>-</sup>), que podem atingir concentrações de até 120g.L<sup>-1</sup> (CAMPOS et al, 2002).

Devido à captação de água junto com o petróleo, esta se torna um dos contaminantes mais indesejados para a exploração. O volume de água presente pode chegar a 70% de todo o efluente gerado durante todo o processo de produção do petróleo e de 7 a 10 vezes maior do que de petróleo durante a extração do poço (AMINI et al., 2012). Este volume de água associado ao petróleo pode depender de dois fatores : a) a idade dos poços; b) características dos fluídos produzidos. (THOMAS, 2011; OLIVEIRA et al, 2005; DÓREA et al, 2007). A quantidade de água gerada aumenta consideravelmente com a idade do poço e pode variar de 3 barris de água de produção para 1barril de petróleo produzido (NUNES, 2010).

Desta água extraída junto com o petróleo ocorre a separação da água e do óleo e do gás quando chega no topo do vaso de produção. Assim, 65% desta água é reinjetada no vaso para manter a pressão, 30% pode ser injetado no poço para disposição final, e o restante é descartado nas águas superficiais (OLIVEIRA,2005; CAKMAKCI,2008).

Com o descarte destas águas que não são reinjetadas nos vasos de produção pode-se destacar a necessidade de tratamento antes do descarte. Os impactos que podem ser causados pelas águas de produção estão atrelados as suas características como alta turbidez, alta concentração de material orgânico (DANIELS e MEANS, 1990). Devido a esta complexidade em sua composição o seu tratamento é um grande problema para as industrias petrolíferas, o que gera a necessidade do estimulo ao desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento da mesma.

A disposição sem nenhum tratamento da água de produção diretamente no mar, afeta gravemente os ecossistemas marinhos, devido à alta quantidade de hidrocarbonetos à ser descarregada continuamente (GARLAND et al., 1994; SANTOS, 1995). Assim, para um maior controle ambiental sobre as ações destas empresas, diversos países regulamentaram limites máximos para os teores de óleos da água descarregada. No caso de plataformas maritimas no Brasil, o descarte deve atender a Resolução Conama nº 393 (BRASIL, 2007). O principal parâmetro monitorado é o teor de óleos e graxas, cujo valor permitido deve ser de 29 mg.L-1, para a média aritmética simples mensal, e 42 mg.L-1, para o valor Maximo diário.

A concentração de sais na água de produção varia de valores menores que 100 até 300.000 mg.L-1, dependendo da localização geográfica e da idade e tipo do reservatório de petróleo (STEWART & ARNOLD, 2011). A salinidade da água de produção pode variar de valores abaixo dos usualmente requeridos para a água potável (250 mg.L-1 para cloretos) até muito maiores do que o da água do mar (35.000 mg.L-1). Desta forma, a presença de sais também é um agravante da problemática ambiental das águas de produção.

Diversos estudos tem sido realizados como coagulação/floculação, processos oxidativos avançados, tratamento biológico (MACHADO, 2010; AZEVEDO et al, 2004; ÇAKMAKCI et al, 2008). Com tantos estudos foi possível observar que estes processos utilizados isoladamente são ineficazes para tratar as águas de produção, observando-se assim a necessidade de combinar duas ou mais tecnologias para que tenha-se um tratamento eficaz (BORGES, 2009).

A maioria dos tratamentos biológicos investigados é conduzida em aerobiose e utilizam água de produção diluída (por exemplo, 45% de água de produção e 55% de esgoto doméstico - FREIRE, 1999) ou uma combinação de técnicas físicas e/ou químicas com posterior tratamento biológico (AMARAL, 2001; MACHADO, 2010).

#### 2.1.2 EFLUENTES DE REFINARIA

Os processos para separações de compostos utilizados durante o refino do petróleo são de natureza física. Através de processos de modificações de temperatura e/ou pressão é que se efetuam as separações desejadas. As principais operações de separação que acontecem em refinarias são dessalinização, desasfaltação, desparafinação, desaromatização, desoleificação, а destilação atmosférica е a vácuo entre outras (MARIANO,2001). Estas etapas geram efluentes com grande variabilidade de compostos orgânicos e inorgânicos, como por exemplos o processo de dessalinização, com a corrente de alto teor de sais (cloreto, sulfetos, fosfatos, sulfatos, etc.), conforme apresentado na Tabela 1, podendo provocar danos em equipamentos ou diminuir o rendimento dos processos seguintes (MACHADO,

2010). Demais processos geram efluentes com elevado teor de fenóis, de grandes variações de DQO (Demanda Química de Oxigênio), por exemplo, de 500 a 2000 mg/L, conforme apresentado na Tabela 2, altos valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), pH elevado, sólidos em suspensão, óleos, etc, (MARIANO, 2001). Sendo assim, essas correntes geralmente são diluídas em outras correntes da refinaria, para serem tratadas posteriormente facilitando o processo de tratamento (MACHADO, 2010).

Tabela 1- Etapas do processo de refino do petróleo e os efluentes, gerados. (Fonte: Adaptado de MARIANO, 2001).

PROCESSO	EFLUENTE DO PROCESSO
Coqueamento	Óleo, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , Sólidosem suspensão, fenol,
	alto pH, DQO.
	Altos índicos do álos H-C NH, cálidos em
	Altos índices de óleo, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , sólidos em
Craqueamento Catalítico	suspensão, fenóis, cianetos, alto pH, DBO,
	DQO.
<b>-</b>	Óleo, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> . Sólidos em suspensão.
Destilação atmosférica	Cloretos Marcaptans. Fenol. pH elevado.
Hidrocraqueamento	Alto índice de DQO, H2S, NH3, sólidos em
Catalítico	suspensão, nível relativamente baixo de DBO.
Hidrotratamento/	H <sub>2</sub> S. NH <sub>3</sub> , Sólidos em suspensão. Fenóis, alto
Hidroprocessamento	pH. DBO, DQO.

Durante o processo de refino do petróleo, são utilizados, em média, 246 a 340 litros de água por processo de barril de óleo cru (ALVA-ARGÁEZ; KOKOSSIS; SMITH, 2007), gerando uma quantidade de efluente (água residuária) em torno de 0,4 a 1,6 vezes o volume de óleo que foi processado ((NUNES, 2010). Durante a transformação do material bruto em seus produtos derivados, tais como, gasolina, querosene, lubrificantes, nafta, diesel, etc. (DUPUIT et al, 2007) empregam-se para o refino, grande variedade de

solventes que possuem diferentes graus de solubilidade para extrair substâncias desejáveis (ALVA-ARGÁEZ; KOKOSSIS *et al*, 2007).

Atividades petroquímicas geram efluentes que apresentam grande diversidade de poluentes, tais como, fenóis, sulfetos, amônia, cianetos e outras substâncias orgânicas e inorgânicas, que podem ser tóxicos para diversos organismos e potencialmente cancerígenos (ALAJBEG et al, 2000; BARRON et al, 1999; MARIANO, 2001). Muitos dos compostos tóxicos presentes nos despejos das refinarias de petróleo, mesmo quando presentes em concentrações inferiores às letais podem provocar danos à biota de todo meio ambiente, sendo terrestres ou aquáticos (MACHADO, 2010).

Tabela 2- Valores de DQO de efluente de refinaria de petróleo encontrada na literatura.

DQO MÉDIA (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )
1591
900
800
379
306
935
270
281
590

Apesar dos efluentes de refinarias serem complexos, os processos para os tratamentos são muito semelhantes com que é verificado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), mas dependendo da característica do efluente pode ser necessária a aplicação de alguns métodos mais específicos para remoção dos seus contaminantes. Geralmente, o tratamento das águas residuárias de refinarias de petróleo é realizado através de processos físicos ou físico-químicos utilizando separadores água-óleo e processos de coagulação-floculação (STEPNOWSKI et al, 2002). O tratamento biológico é constituído, principalmente, de três processos distintos: lagoas de aeração, lodos ativados

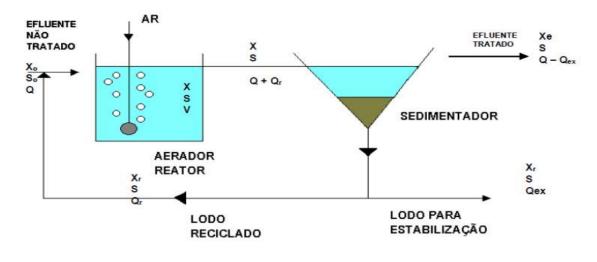
e filtros biológicos, dependendo dos custos envolvidos e do tamanho da área disponível para a construção da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) (SANT'ANNA Jr, 2010).

#### 2.2 PROCESSO DE LODO ATIVADO

O processo mais utilizado para reduzir a matéria orgânica dissolvida é o processo de Lodos Ativados. Este processo possibilita uma redução dos níveis de DQO, carbono orgânico total (COT), cor, turbidez, além da toxicidade do efluente tratado (JENKINS; RICHARD; DAIGGER, 2003).

O sistema de lodos ativados vem sendo muito utilizado no tratamento biológico aeróbio de esgoto sanitário e industrial. O princípio baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos presentes nos efluentes, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio formando um floco microbiano que posteriormente será removido pelo método gravitacional (SANT'ANNA Jr, 2010).

A biomassa se utiliza do substrato que se constitui na matéria orgânica presente no efluente bruto para se desenvolver. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos que incluem a biomassa, permitindo que com o término do tratamento o efluente final saia clarificado, como pode ser observado na Figura 1. Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são reutilizados (recirculados) para o reator, aumentando a concentração de biomassa no mesmo, o que é responsável pela elevada eficiência do sistema (VON SPERLING, 2002).



Xo e Xo e concentração de sólidos em suspensão no afluente e efluente final (mgSSV/L ou gSSV/m³)
So e concentração de substrato no afluente (mgDQO ou mgDBO/L ou gDQO ou DBO/m³)
S ou X= concentração de sólidos ou substrato no reator (mg/L ou g/m³)
Xr=concentração de sólidos no lodo reciclado (mg/L ou g/m³)
Q=vazão (m³/d)
Qr=vazão de recirculação ou reciclo (m³/d)
Qev=vazão de lodo excedente (m³/d)

**Figura 1**- Esquema do processo de lodos ativados com as suas variáveis. (Fonte: CAMPOS, 2000)

O sistema de lodo ativado necessita de um espaço para o contato do lodo com o efluente que chama-se de reator estando associado a um aerador que faz a manutenção da disponibilidade de oxigênio para a atividade do lodo, onde uma cultura de bactérias aeróbias e facultativas é mantida em suspensão promovendo as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica (JORDÃO & PESSOA, 1995). Ou seja, a biomassa, o lodo, utiliza a matéria orgânica do efluente como substrato para seu desenvolvimento.

A qualidade e quantidade de efluente tratado dependem do tempo de retenção do efluente no reator. Em sequência com o reator tem-se o decantador onde ocorre a sedimentação dos sólidos permitindo a separação dos sólidos (floco microbiano) da mistura, que se depositam no fundo do tanque e assim serão novamente levados para o reator aumentando a biomassa para interagir com o efluente, recirculação do lodo. O sobrenadante clarificado, então é obtido (VON SPERLING, 1997).

A biomassa consegue ser facilmente separada no decantador secundário através da sua propriedade de se aglomerar produzindo flocos. Isto se deve pelo fato das bactérias produzirem uma matriz gelatinosa, biofilme, que permite a aglutinação destas e outros microrganismos, como protozoários. O

floco possui maiores dimensões, o que facilita a sedimentação. A Figura 2 exemplifica um floco de lodo ativado (VON SPERLING, 2002).

#### FLOCO DE LODO ATIVADO

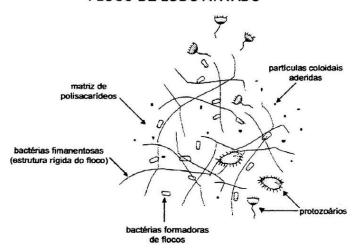


Figura 2 - Esquema de um floco microbiano. (Fonte: VON SPERLING, 1996).

A comunidade microbiana é estabelecida nesse sistema, sendo dinâmica e fundamental ao tratamento, onde cada espécie tem sua importância para o sistema (AMMAN; GLOCKNER; NEEF, 1997). A estrutura dessa comunidade está diretamente ligada às condições operacionais e com a qualidade e quantidade de efluente que alimenta o processo (VAZOLLÉR et al, 1989). Mudanças nas condições ambientais provenientes da composição do efluente podem levar à alterações na comunidade do lodo, influenciando os processos de biodegradação, assim reduzindo a qualidade do efluente tratado (MADONI et al, 1996). A natureza da microfauna presente no tratamento é característica da idade do lodo, da saprobidade, do nível de qualidade do efluente vindo do despejo industrial, da quantidade de matéria orgânica biodegradável, da toxicidade do efluente, etc, (CETESB, 1992; JENKINS et al., 2003).

A verificação da eficiência dos sistemas de lodos ativados foram baseados nas características biológicas do lodo, características que interferem na sedimentabilidade do lodo, que necessita cuidados em relação ao pH e alcalinidade (SANT'ANNA, 2010) . Esta sedimentabilidade do lodo está relacionada à formação dos flocos microbianos, e estes estão relacionados à

identificação e quantificação das bactérias filamentosas e de protozoários e metazoários (JENKINS; RICHARD; DAIGGER, 2003). A avaliação da sedimentabilidade do lodo é realizada comumente pelo ensaio de Índice Volumétrico de Lodo (IVL). Sendo definido como o volume ocupado por 1 grama de lodo ativado após a sua sedimentação no intervalo de 30 minutos (VON SPERLING, 2002).

Na Tabela 3, estão apresentados os valores de IVL em relação a sedimentabilidade e as características do efluente doméstico segundo Jordão & Pessôa (1995), e quando relacionado ao efluente de industria pode-se observar algumas diferenças.

O floco microbiano ideal, para uma boa tratabilidade e sedimentação deve apresenta flocos firmes, de tamanho médio ou grande, com aspecto compacto. O tamanho do floco está relacionado com a turbulência do meio, onde uma elevada turbulência do sistema levaria a fragmentação do floco. Um problema que é recorrente em estações de tratamento são flocos com um excesso de bactérias filamentosas, comprometendo a sedimentação e compactação do floco. (PUJOL & CANLER, 1992). As filamentosas podem ser encontradas em excesso por escassez de nutrientes, baixo oxigênio dissolvido (OD) e baixa carga orgânica (SANTA'ANNA Jr, 2010).

Tabela 3 – Sedimentabilidade do lodo em esgoto doméstico. (Fonte: JORDÃO & PESSÔA, 1995)

IVL( mL/g)	Sedimentabilidade	Características
Menos de 50	Perfeita	Efluente sem turbidez
50- 100	Muito boa	Efluente bom
100-200	Tolerável	Risco de intumescência e Perda de lodo
200-400	Ruim	Flocos filamentosos
Acima de 400	Praticamente impossível	Perda total de lodo

Na elaboração de projetos que constituem sistema de lodos ativados, a literatura vem reportando que segue um padrão, nível de oxigênio dissolvido entre 0,5 – 2,0 mg/L (SANT'ANNA, 2010).

Já os protozoários e metazoários promovem o "polimento final" do efluente, ajudando na remoção de DBO, DQO e da turbidez do efluente. Porém, para maior atuação efetiva dos microrganismos no sistema é necessário que estejam nas condições ideais de temperatura, OD e pH, e que esteja livre de toxicidade.

A matéria orgânica sofre oxidação das bactérias, de acordo com as reações estequiométricas a seguir (ECKENFELDER, 1989):

Oxidação e síntese:

Respiração endógena:

$$C_5 H_7 NO_{2+} 5O_{2} \rightarrow 5CO_{2} + 2 H_2O + NH_3 + ATP$$

Em uma rede de estação de tratamento de esgoto, seja industrial ou doméstico, o tratamento de lodo ativado é considerado secundário, posteriormente aos tratamentos preliminares (grades e caixa de areia) e do tratamento primário (decantadores).

# 2.2.1 Metabolismo da Biomassa Presente no Sistema de Lodos Ativados

O crescimento de biomassa é o resultado do metabolismo do lodo ativado que se deve a processos metabólicos catabólicos e anabólicos (FERNANDES, 2001). A respiração aeróbia é um processo metabólico formado por diversas reações químicas com o objetivo de produzir energia (ATP) que será utilizada em outras atividades celulares, e esta acontece nos seres vivos que utilizam o oxigênio como aceptor final de elétrons. Os processos envolvidos na quebra de moléculas orgânicas para a formação de ATP

possuem diversas etapas, como ciclo de Krebs e cadeia transportadora de elétrons (BROWN, 2005).

O processo de catabolismo (respiração endógena) envolve reações que tem por finalidade a oxidação da matéria orgânica, possibilitando a geração de ATP através da movimentação de elétrons na etapa da cadeia transportadora de elétrons que ocorre nas cristas mitocondriais, tendo o oxigênio como aceptor final de elétrons. Já no processo de anabolismo (respiração exógena) ocorrem reações que consomem energia, que resultam em novas células/aumento da biomassa, sendo reações de biossíntese. A maior parte desta energia consumida se envolve em reações para síntese protéica. Esta energia gerada no catabolismo é utilizada pelas células sintetizarem macromoléculas, na reparação de danos as células e para manter o transporte ativo através da membrana celular, dentre outras. Pode-se observar que muitas das moléculas percursoras das macromeleculas são encontradas como intermediários em reações catabólicas (BROWN, 2005).

O processo de lodos ativados é um processo sensível podendo ser afetado de várias maneiras: por inibição de alguma etapa das reações, inativação do funcionamento de alguma organela específica das células bacterianas (ZITA & HERMANSSON, 1996) ou até mesmo a plasmólise das células ocasionada por elevada pressão osmótica, este causado principalmente por excesso de sais nos efluentes (MEDEIROS, 2005). Além destas influencias tem-se a faixa de pH ideal, fornecimento de oxigênio, de substrato e de substâncias tóxicas que podem interferir na eficiência do processo. Sendo assim, é necessária a verificação de diversos fatores condicionantes para o desenvolvimento saudável e garantir a atividade metabólica eficiente para formação de flocos biológicos e degradação da matéria orgânica presente no efluente.

# 2.2.2 Parâmetros Físico-Químicos relacionados ao Sistema de Lodos Ativados

O processo de lodos ativados deve ser controlado em relação a diversos fatores físico-químicos que auxiliam na eficiência de operação da planta do processo de tratamento. Assim, é importante discutir sobre estes parâmetros

que são mais relevantes, principalmente para discussão dos resultados desta presente pesquisa.

#### 2.2.2.1 Concentração de Substrato

Para o processo de lodos ativados é muito importante a qualidade e quantidade de substrato presente no efluente que será utilizado no sistema. A concentração de matéria orgânica oriunda dos esgotos normalmente é relacionada em termos de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). A razão entre as relações DQO/DBO pode ditar a biodegradabilidade do efluente, já que a diferença entre os dois parâmetros nos indica a quantidade de matéria recalcitrante ou de difícil biodegradação contido no efluente de estudo, a faixa da razão DQO/DBO em esgotos domésticos segundo SANT'ANNA (2010) é de 1,5-1,9. Outra forma de analisar matéria orgânica pode ser obtida pelo teor de Carbono Orgânico Total (COT) (Sant'Anna Júnior, 2010).

#### 2.2.2.2 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido no efluente é importante para o processo de oxidação da matéria presente através dos microrganismos pelo consumo de oxigênio. A concentração de oxigênio acaba determinando a cinética de metabolismo dos microrganismos. Onde o organismo que tem um alto consumo de oxigênio em ambientes de baixa disponibilidade de OD tem sua cinética reduzida limitando seu metabolismo. Assim, como microorganismos anaeróbicos tendem a ter seu metabolismo favorecido em ambientes com pouca ou ausência de oxigênio.

Estudos avaliaram a relação entre OD e a formação da estrutura dos flocos de lodos ativados, e estes observaram que uma disponibilidade entre 2,0-5,0 mg/L são ótimas para o funcionamento e formação dos flocos (WILÉN et al, 1999).

#### 2.2.1.3. pH

O pH é importante para o funcionamento do metabolismo dos microrganismos pois está relacionado a sua capacidade de realizar transformações químicas da matéria, principalmente a orgânica.

Segundo Sant'Anna Júnior (2010) foi observado a faixa entre 5,5-8,5 de pH como faixa ótima para a degradação da matéria orgânica pelas bactérias. Sendo assim cada população microbiana tem uma faixa ideal de pH para seu metabolismo ótimo, necessitando um controle deste parâmetro para obter um bom funcionamento do lodo ativado.

#### 2.2.1.4. Salinidade

A salinidade está diretamente ligada a sedimentabilidade do lodo, mas os trabalhos na literatura ainda são contraditórios. Segundo Mesquita (2006) para uma concentração de sal a 3% os valores de IVL podem chegar a 5 g/mL, sendo que o controle se apresentou com valores de até 40 g/mL. Já Uygur & Kargi (2003) obtiveram para concentrações de até 6% de sal no efluente, valores de IVL de até 97ml/g, enquanto que no controle obtiveram valores aproximados de 45ml/g de IVL. A explicação é devido ao sal causar o aumento da plasmólise das células prejudicando a qualidade do lodo e diminuindo sua capacidade de sedimentação.

A salinidade é um problema muito sério para tubulações, embarcações, plataformas *off-shore*, causando danos em estruturas de metal principalmente. Além da escassez de água potável que leva muitas cidades a utilizar águas salobras provenientes de poços artesianos, que quando chegam as ETEs podem gerar distúrbios nas estruturas e nos processos de tratamento, como no processo de lodos ativados (WANG, 2005).

Além da plasmólise as elevadas concentrações de sais podem causar (WILÉN et al, 2008):

 que os microrganismos que são sensíveis a altas salinidades e por mais que se adaptem continuam sendo sensíveis as variações de concentração de sais, pois a queda causa a perda de toda a cultura.

- a variação na concentração causa mudança nas forças iônicas do sistema, o que gera anormalidades no sistema.
- as taxas de degradação da matéria orgânica no processo de lodos ativados é reduzida, sendo necessário reduzir a relação A/M.
- 4) a alta salinidade diminui a eficiência de sedimentação devido a redução das populações de protozoários e organismos filamentosos que são importantes para a formação dos flocos, aumentando a perda de sólidos no efluente final e consequentemente a sua turbidez.

#### 2.2.1.5. Fenol

O fenol é um composto que constitui efluentes resultantes de etapas do refino de petróleo como craqueamento catalítico, produção de lubrificantes e de solventes. A presença deste composto causa odor e sabor característico.

Compostos como fenóis são tóxicos à saúde humana, pois alguns mesmo em concentrações inferiores as letais podem causar sérios danos a fauna e flora, assim como o aparecimento de alergias e doenças em estado mais moderado (FLORIDO, 2011).

Assim, como os hidrocarbonetos, os compostos fenólicos são considerados os principais contaminantes dos efluentes oriundos de refinaria. A quantidade deste no efluente depende das etapas do processo de refino utilizadas. Segundo a literatura, a DBO de efluentes fenólicos das refinarias varia entre 17 e 280 mg/L (MARIANO, 2001).

As altas concentrações de composto fenólicos além de tóxico podem agir como inibidores dos processos biológicos a partir de concentrações de 100 mg/L (MARIANO, 2001). No Brasil, a tolerância estabelecida para lançamento em corpos d'água de fenol é de 0,5mg/l (CONAMA, 2011)

#### 2.2.3 PARÂMETROS OPERACIONAIS

Visando a uma maior eficiência na remoção de poluentes num sistema de lodo ativado, há alguns parâmetros operacionais que são constantemente investigados. Seriam estes parâmetros, segundo Van Haandel (1999), baseados na idade do lodo, na relação alimento/organismo, tempo de retenção hidráulica (TRH), aeração do sistema e vazão.

Em sistemas de lodos ativados as concentrações de sólidos voláteis dos tanques de aeração são importantes para estimar as concentrações de microrganismos decompositores, para o controle do funcionamento ideal do tanque de aeração que encontra-se na faixa entre 1500 e 4000 mg SSV/L (JORDÃO &PÊSSOA, 1998; VON SPERLING, 1997).

O índice volumétrico de lodo (IVL) é um parâmetro que expressa o estado de sedimentabilidade do lodo, medida de volume ocupado pelo lodo após sedimentação de 30 minutos, sendo expresso em mL/g (SANT'ANNA JR, 2010). A avaliação da sedimentabilidade do lodo é fundamental para a clarificação do efluente final, sendo recomendada uma faixa que varia entre 40 e 150 mL/g (JORDÃO & PESSOA, 1995).

A capacidade de formação dos flocos está diretamente ligada aos resultados de IVL, e diversos fatores como salinidade, disponibilidade de substrato, turbilhonamento do tanque interferem na floculação do lodo ativado.

A idade do lodo é de grande importância, pois representa o tempo de retenção celular no reator, indicando o tempo médio de permanência no reator sendo definido pela razão entre a massa do lodo no sistema e a massa de carga diária do efluente de entrada, como pode-se ver na equação 1:

$$oldsymbol{ heta_c} = rac{\mathbf{m_v}}{\mathbf{w'}}$$
 Equação 1

Onde:  $m_V$  é a massa de lodo presente no reator e w' é a massa de lodo biológico retirada do reator por unidade de tempo.

A relação entre a biomassa (SSV) presente nos tanques de aeração e a concentração de materia orgânica proveniente dos esgotos é a relação A/M (VON SPERLING,1997). As faixas ideais de processos convencionais de substrato disponível no efluente vão de 0,07-1,1 kgDBO5/kg.SSV.dia, segundo Jordão & Pêssoa (1995). Em tratamentos de efluentes salinos é recomendado menores relações de A/M, devido a queda das taxas de degradação e consumo de substrato (COSTA, 2009).

Usualmente a relação A/M (d<sup>-1</sup>) é dada em kg DBO<sub>5</sub> d<sup>-1</sup>/ kg SSV (VON SPERLING, 2002), como pode-se observar na Equação 2:

$$\frac{A}{M} = \frac{Q(m^3.d^{-1})xS_0(mgDQO.L^{-1})}{volume\ reator\ (m^3)x\ X(mgSSV.L^{-1})} = \frac{Kg\ DBO_5}{Kg\ SSV.d} \quad \text{Equação 2}$$

O tempo de retenção hidráulica (TRH) consiste na razão entre o volume presente no biorreator e o volume retirado do biorreator por unidade de tempo, assim sem ter perdas no sistema a quantidade que entra no biorreator é a quantidade que sai (VON SPERLING, 1997).

A aeração é de grande importância para o sistema já que a quantidade de OD no sistema tem que ser ideal para que o sistema de lodos ativados possam operar devidamente (VON SPERLING, 1996).

O tratamento biológico para remoção da matéria orgânica apresenta algumas divisões do processo de lodos ativados, relacionadas às condições operacionais utilizadas no processo, tais como, idade do lodo (lodo ativado convencional e aeração prolongada), divisão quanto ao fluxo (contínuo ou em batelada) e forte carga. A Tabela 4 mostra as características operacionais de algumas variantes do processo de lodos ativados.

Tabela 4 - Características operacionais do processo de lodos ativados (Fonte: Adaptado de JORDÃO & PESSÔA, 1995).

Parâmetro/Processo	Aeração	Convenc	Forte
	Prolongada	ional	Carga
A/M (kgDBO5/kgSSV.d)	0,05-0,15	0,2-0,5	1-5
TRH(h)	18-24	3-8	1-2
Consumo específico de Oxigênio	1,3-2	0,8-1,2	0,4-0,8
(kgO2/kgDBO5 rem.)			
Idade do Lodo (θc) (dias)	20-30	5-15	5-10
Remoção de DBO5(%)	>90	80-95	50-70
Nitrificação	Avançada	Iniciada	Nula
Razão de recirculação	0,1-1,5	0,2-0,8	0,5-3

### 2.2.4 Tratamento Biológico de Água de Produção (AP)

De acordo com Mariano (2001) os tratamentos biológicos distintos que podem ser aplicados a efluentes com elevadas concentrações de salinidade são: lagoas de oxidação, lodos ativados e filtros biológicos. A seleção de qual tipo de biotratamento será utilizado depende grandemente dos custos envolvidos e do tamanho da área disponível para a construção da planta.

Para este tipo de efluente é destacado o tratamento por lodos ativados. Conforme utilizado por Santos (1995) para avaliar a influência da salinidade nos lodos ativados pelo método rápido de respirometria. Medeiros (2004) também avaliou a influência da salinidade no tratamento biológico de um efluente da indústria química.

A problemática da utilização do lodo ativado para o tratamento deste efluente é a ação inibitória que o sal em elevadas concentrações promove no lodo.

### 2.2.5 Tratamento Biológico de Águas de Refinaria

Dentre os tratamentos biológicos citados no item anterior, também podese ressaltar o tratamento por lodos ativados como o mais utilizado para ser aplicado em efluente de refinaria.

Barros Jr (2008) utilizou o sistema de lodos ativados para avaliar a remoção de fenol, e sua influência sobre a atividade microbiana pela respirometria. Machado (2010) utilizou o sistema de lodos ativados para avaliar remoção de matéria orgânica e compostos fenólicos de efluente de refinaria.

Neste efluente a problemática é devido à inibição do lodo ativado pela exposição a elevadas concentrações de fenol, tendo um efeito tóxico.

### 2.3 RESPIROMETRIA

A respirometria é uma técnica muito utilizada para a rápida determinação da taxa de consumo de oxigênio (TCO) para a oxidação da matéria orgânica biodegradável através da biomassa. Esta é uma técnica que avalia a queda do OD em relação ao tempo, que permite, assim, avaliar a atividade do lodo ativado, podendo demorar horas ou até mesmo segundo dependendo do tipo de substrato utilizado (Spanjers & Keesman, 1994; Fernandes, 2001).

A facilidade, rapidez e baixo custo colocam a respirometria como um dos métodos mais utilizados tanto em plantas de tratamento quanto em pesquisas para avaliar o metabolismo da biomassa com a variação de cargas tóxicas e a biodegradabilidade do substrato (SPANJERS & KESSMAN, 1994; ANROLLEGHEN et al., 1999; BROUWER et al., 1997; VANROLLEGHEN et al. 1995; FERREIRA et al. 2002; ANDREOTOLLA et al., 2004).

Com os testes respirométricos determina-se em tempo real a taxa de consumo do oxigênio pelo processo de lodos ativados. Esta determinação permite entender o funcionamento do metabolismo dos lodos ativados, onde baixo consumo do OD indica algum agente intoxicante ou inibitório, quando não houver redução na carga orgânica oferecida ao sistema. Sendo assim, este método é uma alternativa para acompanhar o crescimento da biomassa, da eficiência da degradação da matéria orgânica, e para estudar os efeitos metabólicos do meio (COSTA, 2009; FERNANDES, 2001; PORTO, 2007).

Os teste repirométricos se apresentam como alternativa de analisar a parte ativa do lodo pois análises como SSV são análises que não determinam apenas a parte ativa, e sim englobam sólidos inertes, matéria orgânica adsorvida nos flocos, células ativas e inativas. Desta forma, não se pode utilizar o SSV para analisar a biomassa ativa nos lodos ativados (Huang, 1984; Fernandes, 2001).

A realização dos testes consiste na adição de um substrato, após um tempo de carência de substrato submetido ao lodo, que necessitando de energia para seu desenvolvimento e para estocar reservas celulares de energia, os microrganismos consomem rapidamente o oxigênio disponível. Este rápido consumo apresenta uma TCO bem intensa nos primeiros instantes

e após algum tempo a TCO volta ao padrão de consumo antes de adicionar o substrato.

O método de ensaio em batelada, estimado por Ferreira (2002) a partir de um sistema simplificado, como no esquema da Figura 3, representa como deve ser montado o sistema.

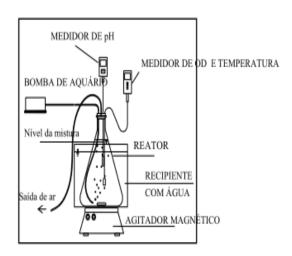


Figura 3- Representação esquemática dos equipamentos utilizados pelo método simplificado (Ferreira, 2002)

Como pode-se observar é um esquema simples, utilizando apenas de itens como:

- a) Agitador magnético: para a homogenização do efluente com o lodo.
- b) Medidor de OD e Temperatura: para determinar a Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) e verificar a temperatura média durante a realização do experimento.
- c) Bombas de aquário: fonte de oxigenação do reator.
- d) Medidor de pH: para verificar qualquer mudança de pH que poderia interferir nos resultados.

As bombas de aquário são necessárias na fase preliminar do estudo para fornecer oxigenação para o reator antes da leitura da variação de OD do sistema com a introdução do efluente/substrato de estudo.

De acordo com Ferreira (2002) o lodo utilizado teria que estar em aeração para possuir índices elevados de OD, então efluente (fonte de alimentação) é introduzido, no sistema para ser avaliada a variação deste OD em decorrer do tempo. Logo, após a introdução do substrato no sistema, este era aerado por aproximadamente mais 3 minutos e então era feita a leitura da TCO.

Assim, a respirometria consiste em uma fase endógena no seu inicio, a fase exógena pela inoculação do substrato e seu retorno à fase endógena após o consumo de todo o substrato pelo Lodo Ativado ( ANDREOTTOLA *et al*, 2002).

Os testes de TCO consideram as variações na taxa de consumo de oxigenio pela população do lodo em conseqüência do tipo de substrato acrescentado, avaliando a velocidade de degradação de parte da biomassa.

A absorção do oxigênio pelo lodo ocorre através de duas etapas:

- respiração endógena: é o oxigênio necessário para a respiração do lodo ativado, ou seja, a energia requerida para manter as funções básicas de sobrevivência das células; realiza-se a fase endógena da taxa de absorção de oxigênio;
- 2) degradação do substrato: representa o consumo de oxigênio pelos microrganismos para realizar a degradação dos substratos presentes no líquido alimentado, neste caso tem-se a fase exógena da taxa de absorção de oxigênio.

O comportamento de acordo com Andreottola (2002), é apresentado na Figura 4.

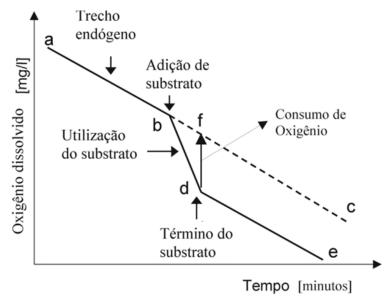


Figura 4 - Efeito sobre a concentração de oxigênio dissolvido, após adição ao lodo ativado de uma limitada quantidade de substrato (ANDREOTTOLA *et al*, 2002).

Mas podem aparecer comportamentos observados também em Andreottola (2002), conforme mostra a Figuar 5.

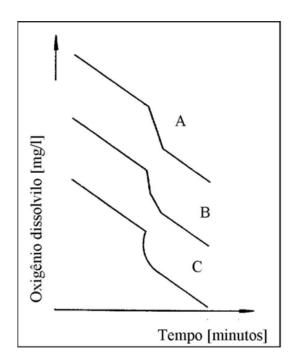


Figura 5 - Tipologia de curvas de respiração comumente observada (Andreottola et al, 2002)

- A) Representa um intenso aumento da taxa de respiração, coincidindo com a adição de substrato, que se apresenta rapidamente biodegradável. Por isto, volta rapidamente para a fase endógena.
- B) Representa uma combinação de dois substratos, onde a velocidade de respiração cresce rapidamente e depois vai reduzindo lentamente até retornar à inclinação anterior.
- C) Representa efluentes que contem substâncias complexas, assim a velocidade da respiração cresce rapidamente, e vai reduzindo sua velocidade mas não restitui a velocidade anterior e sim uma velocidade mais baixa.

Desta forma, os parâmetros obtidos através da respirometria, permitem observar indicações sobre a atividade dos organismos heterotróficos e autotróficos em função do substrato disponibilizado.

## 2.4USO DE CARVÃO ATIVADO NO REATOR BIOLÓGICO

A união da adsorção física do carvão ativado e da biodegradação do Processo de Lodos Ativados em apenas uma etapa, com finalidade de reduzir poluentes biodegradáveis e recalcitrante foi denominado de Processo PACT®, e patenteado pela Du Pont em 1970 (ECKENFELDER, 1999).

Esta associação dos dois processos apresenta benefícios como remoção de cor, odor e metais pesados, além da menor produção de lodo, redução da matéria orgânica presente no efluente e com o carvão no reator aumenta a estabilidade em choques de cargas ou caso ocorra outras condições adversas no reator, quando comparado ao reator apenas com lodo ativado (ECKENFELDER, 1999).

#### 2.4.1 Carvão Ativado

Com uma forma microcristalina e não gráfica, os carvões ativados são matérias carbonáceos que sofrem um processamento para aumentar a sua porosidade interna. Este aumento da porosidade culmina em uma rede de túneis que possibilitam uma maior superfície de contato para adsorção. Esta porosidade diferenciada é classificada segundo o tamanho em macro, meso e microporosidades (CLAUDINO, 2000), como mostrado na Figura 6.

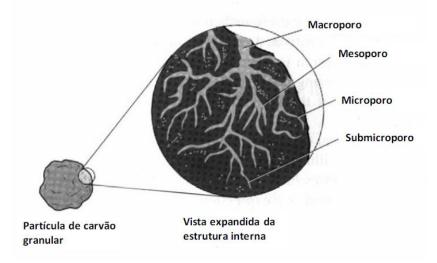


Figura 6: Vista esquemática da estrutura interna de uma partícula de carvão ativado. Fonte: Metcalf & Eddy (2003).

Os materiais carbonáceos possuem um grau de porosidade de área entre 10 e 15 m<sup>2</sup>/g. Ocorre o aumento da sua área superficial com a oxidação dos átomos de carbono, que após a ativação atinge uma área de até 800m<sup>2</sup>/g (CLAUDINO, 2007).

A adsorção pelo carvão é um fenômeno espontâneo, que com o decorrer do tempo de contato leva a redução da energia livre superficial ( $\Delta G^{o}$ ), o que gera uma diminuição de entropia ( $\Delta S^{o}$ ) (CIOLA, 1981).

As forças químicas como as ligações de hidrogênio, interações dipolodipolo e forças de Van Der Waals são responsáveis pela permanecia dos compostos adsorvidos na superfície do carvão. Os grupos químicos presentes em sua superfície também são importantes na adsorção pela afinidade química dos seus grupos básicos e ácidos entre os compostos e o carvão ativado (VIZCARRA, 2003).

As porosidade e a área superficial especifica do carvão são importantes propriedades físicas para a capacidade de adsorção do carvão, pois quanto maior a porosidade, maior a superfície de contato e consequentemente mais substancias conseguem ser adsorvida (VIZCARRA, 2003).

Apesar das características químicas e a estrutura porosa da carvão ativado estejam relacionados ao desempenho do carvão, as condições de processamento e a natureza do material percursor também influenciam na estrutura e propriedades finais do produto (CLAUDINO, 2007).

### 2.4.2 Uso do PACT® no tratamento de efluentes

Como uma das vantagens do PACT®, segundo Meidl (1997), é o controle da remoção da matéria orgânica pelo ajuste da dose de carvão no reator. Meidl relatou que como o descarte para manter a idade do lodo é constituído de partículas de carvão aglomeradas ao floco microbiano, diminuindo a concentração acumulada no reator, assim a biomassa com carvão é proporcional a idade do lodo. Assim, pode-se relacionar a idade do lodo e a biomassa com carvão através da Equação 3:

$$X_{ca} = \frac{X_{ci} \times IL}{TRH}$$
 Equação 3

Xca= concentração de carvão no interior do reator (mg/L)

Xci = reposição de carvão (por volume de efluente) (mg)

IL= idade do lodo

TRH= tempo de retenção hidráulica (Q/h).

Assim pode-se constatar que o PACT® auxilia o sistema de Lodos Ativados pela redução da toxicidade ou da inibição da biomassa, facilita a degradação de compostos normalmente não biodegradáveis pelo aumento do tempo de exposição à biomassa devido a adsorção do carvão. Como o carvão permanece no sistema o mesmo tempo relativo à idade do lodo, observa-se a influência da idade do lodo no CAP, sendo quanto maior a idade do lodo maior a remoção de compostos orgânicos por unidade de carvão disponível é aumentada (ECKENFELDER, 1999, METCALF & EDDY, 1991).

A DuPont realizou experimentos em escala de bancada com alimentação Chambers Work (efluente) e foi observado por Flynn & Barry (1976) que o processo PACT® se apresentou superior ao processo de lodos ativados convencional. Assim, temos o processo PACT® sendo aplicado no tratamento de efluentes com alta complexidade e com grande variabilidade de compostos, como efluentes de refinaria. Em Machado (2010), foi obtido através de estudos uma remoção de 95% dos compostos fenólicos, inclusive atingindo o limite exigido para descarte de 0,2 mg/L, enquanto no reator com apenas biomassa a remoção de 85% destes compostos, além de uma baixa sedimentabilidade, não atingindo o limite para descarte.

Machado (2010) relata que a utilização do PACT® para o tratamento de efluentes da indústria de petróleo apresenta alta eficiência na remoção de matéria orgânica, fenóis e outros parâmetros comparados com os sistemas separados. Nayar e Silvester (1978) verificaram a eficiência do processo PACT® em choques de cargas e com variação nos níveis de fenol. E também foi observado por Dewalle e Chian (1977) que o processo PACT® apresenta

uma maior estabilidade para substâncias tóxicas e uma menor concentração dos sólidos suspensos no efluente tratado.

Costa et al. (2003), observou que a adição do carvão ativado ao lodo (processo PACT®) gera uma maior estabilidade do lodo para choques de cargas ou situações adversas, com efluentes com alta salinidade e elevada toxicidade. Esta estabilidade advêm do carvão poder adsorver compostos tóxicos ou pouco biodegradáveis reduzindo o contato do lodo com estes e assim otimizando a eficiência do processo. Desta forma, pode-se obter uma remoção de matéria orgânica e de nitrificação de aproximadamente 90%.

Foi observado por Hilsdorf (2008), a remoção de matéria orgânica e toxicidade em águas residuárias de uma industria com uma composição muito diversificada, como uma das principais matérias-primas o fenol, através da aplicação do carvão ativado em pó (CAP) associado ao Lodo Ativado. A DQO removida por adsorção do carvão foi de 47-77% e, por adsorção no lodo biológico, chegou a 42%.

### 2.4.3 PACT® e respirometria

Poucos são os trabalhos encontrados sobre a avaliação respirométrica do Processo PACT. Sher (2000) fez um estudo para avaliar a influência de 3,5-diclorofenol, fenol e zinco no Processo PACT, mais precisamente na performance do lodo presente. Assim observando que o PACT apresentou uma maior resistência a ação inibitória destes compostos orgânicos do que o lodo ativado, devido a adsorção pelo carvão destes compostos. Foi observado também que esta resistência era crescente de acordo com o tempo de exposição ao composto. Desta forma, o PACT se mostrou um sistema mais resistente a choques de cargas do que o sistema de lodos ativados.

### 3 METODOLOGIA

Neste item serão relacionadas as metodologias utilizadas no estudo. A primeira etapa constituiu-se da aclimatação do lodo utilizado com o efluente sintético. Após a aclimatação tem-se início a segunda etapa, que constitui nos ensaios de respirométria com lodo ativado com adição de sal ou fenol juntamente com suas análises físico-químicas (DQO, COT, ABS e fenol). Na terceira e ultima etapa, a realização dos testes respirométricos com o PACT® e de suas análises físico- químicas.

A primeira fase do estudo é a fase de Lodos Ativados, onde é avaliada a inibição da atividade dos microorganismos constituintes dos Lodos Ativados pela ação da variação das concentrações de salinidade e posteriormente de fenol.

### 3.1. AMOSTRAS

O estudo foi realizado com efluente sintético, cuja composição básica é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5: Receita do efluente sintético para uma DQO aproximada de 1240 mg/L. Fonte: Reis (2006) e Holler & Trösch(2001).

Componentes	Concentração (mg/L)
Peptona de Caseína	640
Extrato de Carne	920
Uréia	172
Fosfato Monobásico de Potássio	160
Cloreto de Sódio	40
Cloreto de Cálcio Dihidratado	24
Sulfato de Magnésio Hepta-Hidratado	12

Além disso, para simular um efluente oriundo de refinaria foi adicionado fenol em concentrações variando entre 0,1 e 1,0 g/L, e para simular efluente

oriundo da exploração de petróleo, água de produção de petróleo, foi adicionado cloreto de sódio em concentrações entre 0,3 e 10 g/L.

## 3.2. SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS

O lodo ativado foi oriundo de estação de tratamento de esgoto doméstico, e passou por um período de aclimatação com o efluente sintético. Ao longo do período experimental, o lodo foi dividido por três reatores para se obter diferentes idades de lodo, de 4, 8 e 16 dias.

Todos os reatores continham um volume aproximado de 4 litros, em becheres, e supridos com aeração, através de compressores de aquário e em temperatura ambiente (25-27°C). Os reatores se apresentavam numa faixa de pH entre 7,3 e 7,9. A cada 48h a aeração era interrompida, e após aproximadamente 30 minutos de sedimentação era retirado todo liquido sobrenadante e este era descartado. Então, o reator era completado até atingir um volume de 4L com um novo volume de efluente sintético.

Para manter as diferentes idades do lodo, em cada reator era realizada a purga da suspensão, segundo a equação 1. O lodo retirado durante a purga era aproveitado para os ensaios de respirométria, descrito no item 3.4.

Nesses ensaios foram avaliadas as respostas do lodo para concentrações de NaCl de 0,3 , 1,0 e 10,0 g/L e de fenol de 0,1 , 0,5 e 1,0 g/L. adicionalmente, nesses ensaios foram realizadas as análises de DQO,COT, Abs em 254nm e fenol (para os testes com adição de fenol).

# 3.3. SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS COM CARVÃO ATIVADO EM PÓ (PACT®)

O Processo PACT (Powdered Activated Carbon Treatment), onde o carvão é adicionado ao reator de lodos ativados, também foi avaliado. O carvão utilizado foi o importado da marca NORIT, que foi utilizado em trabalhos anteriores (MACHADO, 2010; MAIA, 2012) e mostrou excelentes resultados na adsorção de matéria orgânica em efluentes de refinaria e de lixiviado de aterro sanitário. A Tabela 6 ilustra as características do carvão utilizado.

O carvão foi adicionado ao reator em diferentes quantidades devido à idade do lodo. Os cálculos foram realizados baseados na equação 3.

Tabela 6: Rresultados da área superficial e porosidade do carvão ativado Norit. Fontes: Machado (2010) e Maia (2012).

Parâmetros de caracterização		Carvão NORIT
	Área BET	958,16 m <sup>2</sup> /g
Área superficial	Área microporo	722,23 m <sup>2</sup> /g
	Área externa	235,93 m <sup>2</sup> /g
Volume do poro	Volume microporo	0,347 m <sup>2</sup> /g
Tamanho de poro	Tamanho microporo	28,06 Â

Este carvão também era reposto de acordo com a idade do lodo pela Equação 3, por conta da sua purga, onde em um reator de maior idade do lodo a reposição tinha de ser maior pela maior purga, e conseqüente maior perda de carvão.

Assim era retirada uma determinada quantidade do conteúdo do reator que era submetida à sedimentação e o lodo associado ao carvão ativado foi utilizados nos ensaios de respirometria para avaliar as concentrações de NaCl de 0,3 , 1,0 e 10,0 g/L ou de fenol nas concentrações de 0,1 , 0,5 e 1,0 g/L. Adicionalmente, nestes experimentos foram realizadas as análises de DQO, COT, ABS e fenol (para os testes com adição de fenol).

# 3.4. REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DE ATIVIDADE BIOLÓGICA PELA RESPIROMETRIA

Os testes de respirometria foram realizados para avaliação de inibição da atividade biológica frente à presença de salinidade ou fenol, simulando assim os poluentes que podem causar inibição presente na água de produção e em efluentes de refinaria, respectivamente.

O teste repirométrico foi realizado em erlenmeyer, onde em um total de 125mL de meio, 25 mL do meio eram constituídos de lodo ou PACT e os 100mL restantes eram constituídos pelo efluente contendo diferentes concentrações de sal. Após ser inoculado o efluente sintético mais fenol ou sal,

ocorria aeração por cerca de 5 minutos, a aeração era retirada e introduzido no sistema a sonda de medição de OD para obter os dados da TCO (taxa de consumo de oxigênio, que eram obtidas a partir do coeficiente angular da equação gerada pelo decréscimo de oxigênio pelo tempo). Após 24 horas de exposição a aeração, era novamente realizados os testes respirométricos, para avaliar como o sistema se comportava depois de exposição às substâncias inibitórias. Todos os testes respirométricos foram realizados em triplicata.

Além da TCO, foram realizadas medidas de outros parâmetros físicoquímicos descritos no item 3.5 após as 24h de introdução do efluente.

## 3.5. METODOLOGIAS ANALÍTICAS PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DOS SISTEMAS

Na Tabela7 estão apresentadas as metodologias analíticas dos parâmetros avaliados para os reatores e para os ensaios de respirometria.

Tabela 7: Metodologias analíticas.

PARÂMETROS	METODO (APHA, 2005)	
DQO	5220-D (ESPECTROFOTÔMETRO	
	HACH DR2800 E REACTRO HACH)	
СОТ	5310-C (TOCANALYZER-HIPERTOC 1000)	
ABSORVANCIA UV (254NM)	5910-B (SHIMADZU UV MINI 1240)	
FENOL	5530-D (ESPECTROFOTÔMETRO HACH	
	DR2800) MÉTODO 4-AMINOANTIPIRINA	
CLORETO	4500-B	
PH	4500-B (PHMETROMICROPROCES SADOR	
	QUIMIS)	
SÓLIDOS SUSPENSOS	2540-C (ESTUFA DE ESTERILIZAÇÃO E	
TOTAIS E VOLÁTEIS	SECAGEM GEHAKA G4023D E FORNO	
	MUFLA QUIMIS)	
RESPIROMETRIA	DESCRITO NO ITEM 3.4	

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capitulo serão apresentados as médias dos resultados obtidos dos ensaios em triplicata simulando o Sistema de Lodos Ativados e o Processo PACT, e a influência das diferentes concentrações de fenol e sal nestes sistemas.

## 4.1. SIMULAÇÃO COM LODOS ATIVADOS

Como referência, foram avaliadas as taxas de consumo de oxigênio dissolvido (TCO) no sistema de Lodos Ativados sem a introdução de fenol ou cloreto de sódio. A Figura 7 ilustra os resultados obtidos de consumo de oxigênio nas idades de lodo de 4, 8 e 16 dias após 5 minutos e depois de 24hs de aeração. A Tabela 8 mostra os dados de TCO obtidos pelos dados da Figura 7.

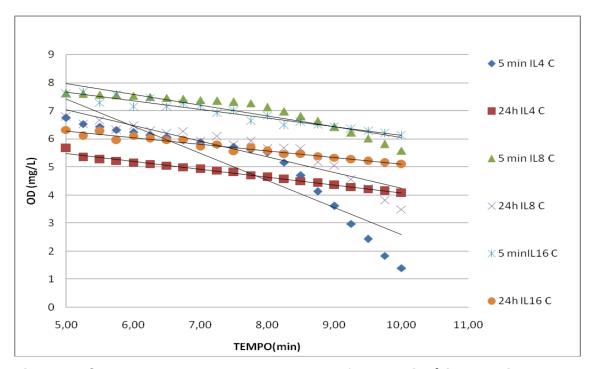


Figura 7: Consumo de OD na presença de efluente sintético no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias controle (Legenda: L4 C, LL8 C e LL16 C).

Tabela 8: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	57,65
IL4 24h	16,81
IL8 5 min	22,92
IL8 24h	33,50
IL16 5 min	18,47
IL16 24h	14,20

Pode ser observado que de acordo com a idade do lodo, a TCO apresentou valores bem variáveis. O sistema com idade do lodo de 8 dias mostrou atividade mais uniforme para ambos os tempos de aeração testados. Este comportamento pode estar relacionado a um lodo mais ativo, capaz de sintetizar mais enzimas que participam da degradação de compostos. O lodo de 16 dias é um lodo mais velho, onde as células já apresentam uma atividade mais lenta e o lodo de 4 dias ainda é um lodo em desenvolvimento e que apresenta um maquinário enzimático menor, quando comparado com o lodo de 8 dias (SANT'ANNA Jr, 2010).

Conforme as características físico-químicas apresentadas pelo efluente pode-se observar o desempenho das diferentes idades de lodo conforme a tabela 9.

Tabela 9: Parâmetros físico-químicos do efluente sintético e das diferentes idades de lodo estudadas.

Parâmetros	Afluente	Efluente IL4	Efluente IL8	Efluente IL16
DQO(mg/L)	1234	184,5	321,5	364,77
COT(mg/L)	540,3	13	23,7	41,6
Abs 254 nm	2,855	1,714	2,142	2,569
Cloreto (mg/L)	106,5	106,5	106,5	106,5
Fenol(mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0

### 4.1.1. Avaliação do impacto de NaCl

Após a avaliação dos aspectos respirométricos dos processos com o efluente sintético, foram então, realizados os ensaios utilizando o efluente sintético e cloreto de sódio. A Figura 8 ilustra os resultados das diferentes idades do lodo para os ensaios com adição de 0,3g/L de cloreto de sódio para os tempos de 5 minutos e 24h de aeração. A Tabela 10 mostra os resultados obtidos de TCO.

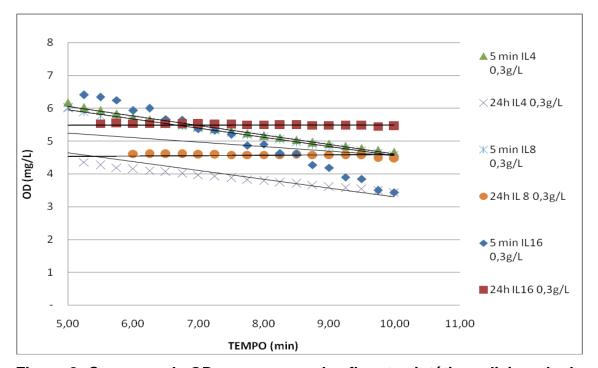


Figura 8: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 0,3 g/L de NaCl no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: L4 0,3 g/L, LL8 0,3 g/L e LL16 0,3g/L).

Tabela 10: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,3 g/L de NaCI.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	17,15
IL4 24h	16,12
IL8 5 min	16,65
IL8 24h	2,18
IL16 5 min	38,78
IL16 24h	1,23

Pode ser observado da Figura 8 e Tabela 10, que a concentração de 0,3 g/L de cloreto de sódio tem maior influência no desempenho do sistema na idade do lodo de 4 dias, pois o valor de TCO caiu drasticamente nos primeiros 5 minutos de aeração. Para o tempo de 5 minutos, o sistema com idade do lodo de 16 dias mostrou elevação na atividade, possivelmente devido à adaptação dos microrganismos a exposição ao sal por ser uma concentração pequena. Para 24 horas de aeração, as idades de lodo de 8 e 16 dias foram as mais afetadas, mostrando indícios de inibição. Medeiros (2005), observou após expor o lodo ativado a diferentes concentrações de NaCl que quanto maior a concentração de sal maior é o efeito inibitório que ele causa.

Para os testes com adição de 1,0g/L de NaCl pode-se observar os resultados obtidos pela Figura 9 e Tabela 11.

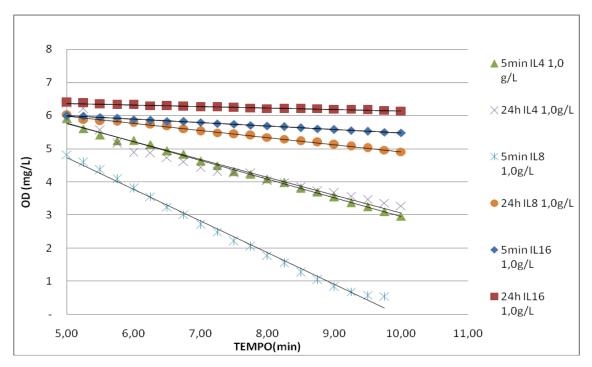


Figura 9: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 1,0 g/L de NaCl no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: L4 1,0 g/L, L8 1,0 g/L e L16 1,0g/L).

Tabela 11: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 1,0 g/L de NaCI.

Teste	TCO ((mg/L.h)
IL4 5 min	33,62
IL4 24h	32,23
IL8 5 min	57,24
IL8 24h	12,82
IL16 5 min	6,25
IL16 24h	2,69

Os resultados mostram que o lodo ativados com idade do lodo de 16 horas foi mais impactado com a concentração de 1,0 g/L de cloreto de sódio

A Figura 10 e Tabela 12 representam os resultados após os testes respirométricos com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCl.

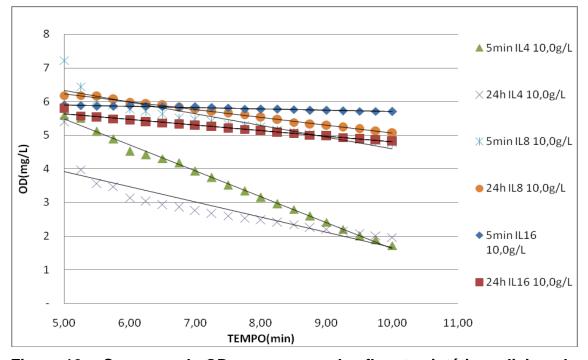


Figura 10: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionado de 10,0 g/L de NaCl no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda:IL4 C, IL8 C e IL16 C).

Tabela 12: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 10,0 g/L de NaCI.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	46,06
IL4 24h	26,98
IL8 5 min	20,69
IL8 24h	14,05
IL16 5 min	2,41
IL16 24h	10,04

A Figura 11 e Tabela 12 ilustram que a idade do lodo de 4 dias apresentou os maiores valores de TCO, mas o que apresentou menor influencia do cloreto foi a idade de 8 dias do lodo por ter apresentado menor redução de TCO do que as demais idades de lodo. O que indica uma possível maior estabilização do lodo de 8 dias de idade para a presença do NaCl do que as outras idades do lodo.

As Figuras 12, 13 e 14 ilustra os resultados de DQO, COT, Abs em 254nm para os afluentes e os efluentes tratados em cada condição, no tempo de 24 horas de aeração. As Tabelas 13, 14 e 15.apresentam os dados de remoção obtidas em 24 horas de remoção para os parâmetros DQO, COT, Abs em 254nm, respectivamente.

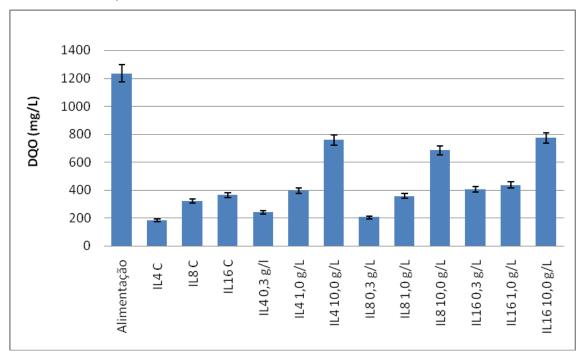


Figura 11: representação das análises de DQO residual após os ensaios de controle e com salinidade.

Legenda: IL4C - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,3g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL8 0,3g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL16 0,3g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL4 1,0 g/L idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL8 1,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL16 1,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL4 10,0 g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCl; IL8 10,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL16 10,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI;

Tabela 13: Remoção de DQO após testes de salinidade

Lodo Ativado	DQO final (mg/L)	Remoção (%)
Afluente	1234	-
IL4 0,3g/L de NaCl	205,3	80,4
IL4 1,0g/L de NaCl	357,2	68,1
IL4 10,0 g/L de NaCl	684,2	38,5
IL8 0,3 g/L de NaCl	405.3	83.4
IL8 1,0 g/L de NaCl	436.0	71,1
IL8 10,0 g/L de NaCl	772,6	44.6
IL16 0,3 g/L de NaCl	405,3	67,2
IL16 1,0 g/L de NaCl	436,0	64,7
IL16 10,0 g/L de NaCl	772,6	37,4

Pode-se observar através dos dados apresentados na Figura 11 que quanto maior concentração de sal menor foi a redução da DQO nas diferentes idades de lodo. Nestes experimentos tem-se que a idade do lodo de 8 dias se mostrou mais eficiente na remoção da DQO que as outras idades de lodo. Em relação a idade de 4 dias, o lodo de 8 dias apresentou uma remoção em torno de 4 a 5% maior para todas as concentrações de sal. Em relação ao efluente bruto, a idade do lodo de 8 dias promoveu uma remoção de 83% para 0,3g/L, 71% em 1,0g/L e 44,6% em 10,0g/L de cloreto de sódio. Assim, temos que apesar de só ter apresentando valores de TCO maior que das demais idades de lodo, o lodo de 8 dias de idade apresentou uma maior remoção de DQO que os demais. Pode-se observar resultados semelhantes nos estudos de Medeiro

et al (2005), onde pela adição de diferentes concentrações de cloreto observou uma redução da atividade microbiana, que consequentemente leva a uma redução da degradação da matéria orgânica.

Na figura 12 verifica-se os resultados de COT para os teste de salinidade e controle, e na tabela 14 observa-se as resultados de remoção.

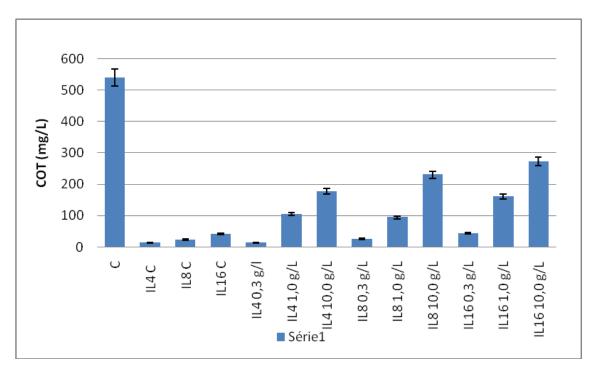


Figura 12: COT residual após os testes com salinidade e controle.

Legenda: IL4C - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,3q/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL8 0.3q/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL16 0,3g/L - idade de 16 dias do Iodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL4 1,0 g/L idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL8 1,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL16 1,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL4 10,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL8 10,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL16 10,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI;

Tabela 14: Remoção de COT para os ensaios de saliniidade.

Lodo Ativado	COT final (mg/L)	Remoção (%)
Afluente	540,3	-
IL4 0,3g/L de NaCl	14,2	80,6
IL4 1,0g/L de NaCl	105,0	95,2
IL4 10,0 g/L de NaCl	178,0	67,1
IL8 0,3 g/L de NaCl	26,0	82,5
IL8 1,0 g/L de NaCl	94,5	91,9
IL8 10,0 g/L de NaCl	230,7	57,3
IL16 0,3 g/L de NaCl	43,7	91,9
IL16 1,0 g/L de NaCl	160,8	70,2
IL16 10,0 g/L de NaCl	273,3	49,4

Em geral, os resultados de COT apresentam a mesma tendência dos observados pela DQO. A adição de sal aumenta os valores de COT do efluente tratado devido à possível lise celular, o que libera substâncias orgânicas que estavam no interior das células componentes da biomassa e/ou inibe a ação de metabolização da mesma. Mesmo com concentrações de 10,0 g/L de cloreto temos uma remoção de 60-70% do COT, apresentando valores entre 180 e 273 mg/L. Desta forma, as três idades do lodo se apresentam eficazes na remoção de COT.

Para avaliar a presença de compostos orgânicos refratários foi utilizada a absorvância em 254nm, conforme expostos na figura 13 e tabela 15.

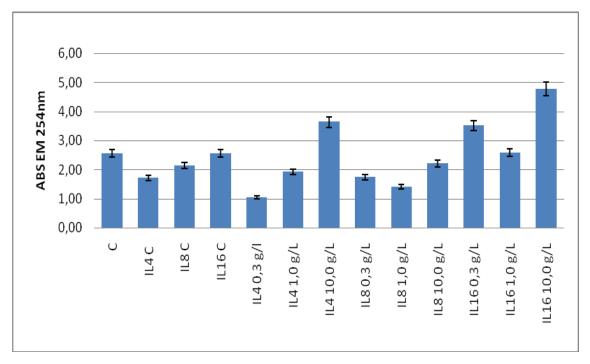


Figura 13: ABS residual após os ensaios com salinidade e com o controle.

Legenda: IL4C - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,3g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL8 0,3g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL16 0,3g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL4 1,0 g/L idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL8 1,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL16 1,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL4 10,0 g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL8 10,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL16 10,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI:

Tabela 15:Remoção de ABS após os ensaios de salinidade.

Lodo Ativado	ABS final (nm)	remoção (%)
Afluente	2,5493	-
IL4 0,3g/L de NaCl	1,313	48,5
IL4 1,0g/L de NaCl	1,616	36,6
IL4 10,0 g/L de NaCl	3,802	-62,5
IL8 0,3 g/L de NaCl	1,461	37,5
IL8 1,0 g/L de NaCl	1,421	39,2
IL8 10,0 g/L de NaCl	2,162	10,1
IL16 0,3 g/L de NaCl	2,465	-5,4
IL16 1,0 g/L de NaCl	3,796	-62,3
IL16 10,0 g/L de NaCl	4,886	-108,9

Estes resultados permitem mostrar que o aumento dos valores de absorvância ocorre devido à presença de substâncias que foram introduzidas no meio devido a de lise celular causada pelo aumento de sal. Medeiros *et al* (2005) que ao introduzir diferentes concentrações de cloreto (11, 15 e 20 g/L) obtiveram alteração da população do lodo ativado e conseqüente aumento da turbidez devido ao possível aumento da lise celular. Dan *et al* (2003) observaram o aumento dos sólidos dissolvidos com a exposição do lodo com o sal. Mesmo com valores elevados de absorvância pelo efluente tratado com sal, foram observados uma redução destes valores após os ensaios para idades de 4 e 8 dias, sendo maiores as reduções nos testes que continha o lodo com idade de 8 dias. Já para os ensaios com idade de lodo de 16 dias,

foram observados um aumento da absorvância pela ação mais intensa do sal a biomassa que é mais suscetível devido a ser um lodo mais velho, ou seja, mais sensível a choques de carga.

Para representar as concentrações de cloreto presentes nas amostras, tem-se a figura 14.

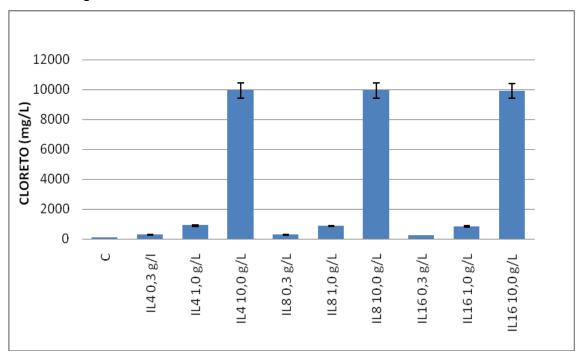


Figura 14: Apresenta as concentrações de sal adicionadas ao sistema de Lodos Ativados.

Legenda: IL4C - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,3q/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL8 0,3g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL16 0,3g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL4 1,0 g/L idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL8 1,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL16 1,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL4 10,0 g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCl; IL8 10,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL16 10,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10.0g/L de NaCI;

Verifica-se que não houve modificação das concentrações de cloreto nas amostras em que foram introduzidas sal. Assim, o cloreto permaneceu presente por todo o tempo dos ensaios, não sendo removido, como era esperado.

.

### 4.1.2. Avaliação do impacto de Fenol

Após a avaliação dos aspectos respirométricos dos processos com o efluente sintético, foi então, realizada os ensaios utilizando o efluente e diferentes concentrações de fenol. A Figura 16 ilustra os resultados das diferentes idades do lodo para os ensaios com adição de 0,1g/L de fenol para os tempos de 5 mine 24h. A Tabela 16 mostra os resultados de TCO obtidos.

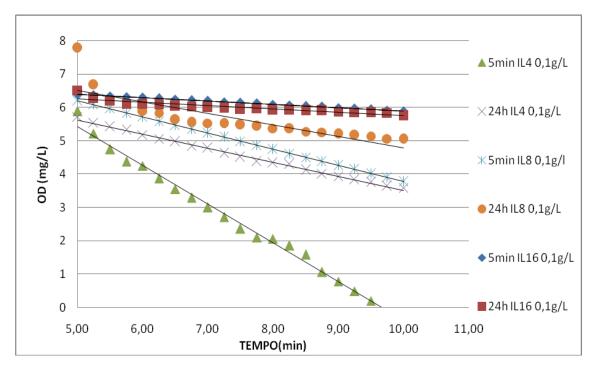


Figura 15: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 0,1 g/L de fenol no sistema de lodos ativados. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: L4 0,1 g/L, L8 0,1 g/L e L16 0,1 g/L).

Tabela 16: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,1 g/L de fenol.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	69,5
IL4 24h	25,23
IL8 5 min	29,07
IL8 24h	20,79
IL16 5 min	5,98
IL16 24h	6,04

Espera-se um aumento da taxa de consumo de oxigênio visto que o fenol é biodegradável (ECKENFELDER, 1999) e nessa concentração ainda não apresenta efeitos de inibição (GERARDI, 2002). A exceção foi o sistema operado na idade do lodo de 16 dias que apresentou valores baixos de TCO, provavelmente devido à não capacidade do lodo em metabolizar uma carga extra de matéria orgânica.

Para concentrações de fenol de 0,5 g/L para as diferentes idades do lodo apresenta-se a Figura 17 e a Tabela 17 com os valores de TCO.

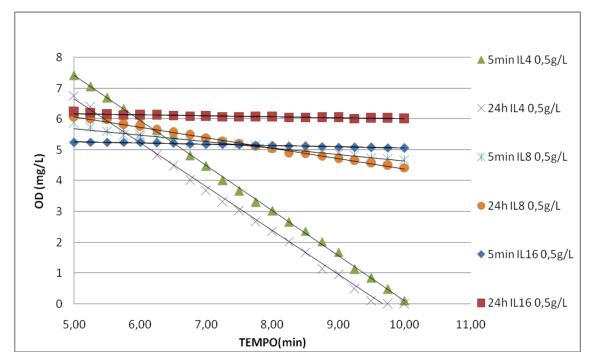


Figura 16: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 0,5 g/L de fenol com o lodo de diferentes idades do lodo nos tempos de 0h e 24h.

Tabela 17: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,5 g/L de fenol.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	87,57
IL4 24h	85,3
IL8 5 min	12,58
IL8 24h	20,32
IL16 5 min	2,57
IL16 24h	2,09

Os resultados mostram que perante a exposição de fenol de 0,5 g/L as diferentes idades do lodo, o lodo com 4 dias de idade manteve elevados valores de TCO, devido a uma maior carga de matéria orgânica para remoção não mostrando efeito inibitório. Para o sistema operado com idade do lodo de 8 dias houve um aumento de 60% da TCO após 24h de exposição ao fenol em relação a TCO do inicio do ensaio, indicando uma adaptação do lodo ao fenol. Já a idade do lodo de 16 dias não há alteração dos valores de TCO, que são baixos indicando uma influência do fenol no seu metabolismo.

As Figura 18 e Tabela 18 representam os ensaios de respirometria em concentração de 1,0g/L para as diferentes idades de lodo.

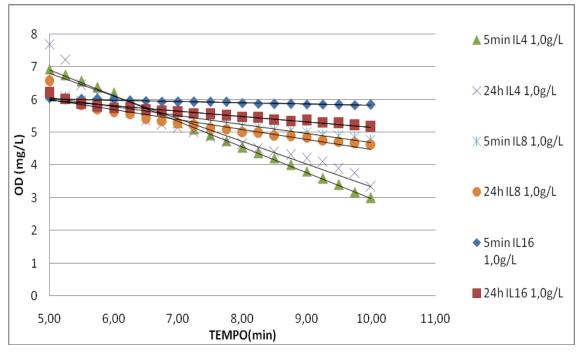


Figura 17: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 1,0 g/L de fenol com o lodo de diferentes idades do lodo nos tempos de 0h e 24h.

Tabela 18: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 1,0 g/L de fenol.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	46,81
IL4 24h	41,31
IL8 5 min	16,25
IL8 24h	18,23
IL16 5 min	2,47
IL16 24h	9,98

Apesar de ser uma concentração considerada inibitória para o sistema biológico (GERARDI, 2002), pois após 24h não há grandes mudanças da TCO obtida, mas o que obteve uma menor alteração da TCO após 24h de exposição ao fenol foi a idade de lodo de 8 dias. O lodo de 8 dias mesmo em elevada concentração de fenol manteve os valores de TCO muito próximos, o que indicou um metabolismo constante quando comparado aos das idades de lodo de 4 e 16 dias. Assim, o impacto sentido é no sistema operado com idade do lodo de 16 dias, pelos mesmos motivos expostos anteriormente.

Para complementar a discussão da TCO, as Figura 19, 20, 21 e 22, e as Tabelas 19, 20, 21 e 22 mostram os valores de remoção de parâmetros DQO, COT e Abs em 254nm e fenol, respectivamente.

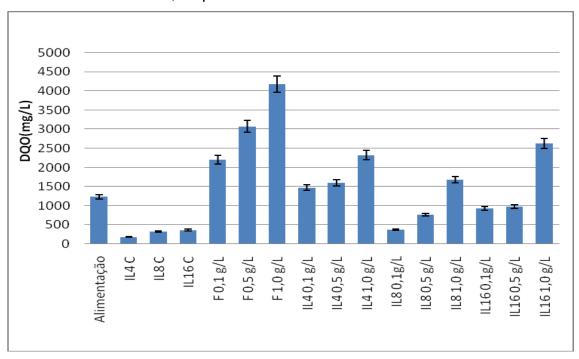


Figura 18: representação das análises de DQO residual após os ensaios de controle e com adição de fenol.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,1g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL8 0,1g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL16 0,1g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL4 0,5 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL8 0,5 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL8 1,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL16 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol;

Tabela 19: Remoção de DQO após testes de fenol

Lodo Ativado	DQO final (mg/L)	Remoção (%)
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	1476	32,9
Efluente IL4 0,5g/L de fenol	1601,35	48,0
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	2326,7	44,3
Efluente IL8 0,1g/L de fenol	373	83,0
Efluente IL8 0,5g/L de fenol	763,3	75,2
Efluente IL8 1,0g/L de fenol	1680	59,8
Efluente IL16 0,1g/L de fenol	925	58,0
Efluente IL16 0,5g/L de fenol	985	68,0
Efluente IL16 1,0g/L de fenol	2633,3	37,0

Apesar de apresentar elevadas TCO, o sistema operado com 4 dias não foi eficiente para remover a matéria orgânica presente, mostrando que mesmo apresentando elevada atividade, ele não foi eficiente para degradar toda a matéria orgânica. O sistema operado com idade do lodo de 8 dias apresentou uma maior remoção de DQO.

Considerando um aumento do DQO do afluente devido à introdução de fenol, verifica-se uma remoção de até 60% (1680 mg/L) de DQO para a idade de 8 dias na concentração de 1,0 g/L, enquanto para concentrações de 0,1 e 0,5 mg/L apresentou uma remoção de 83 e 75% (373 e 763 mg/L), respectivamente.

Na Figura 21 verifica-se os resultados de COT para os teste com fenol e controle, e tabela 21 observa-se os resultados de remoção.

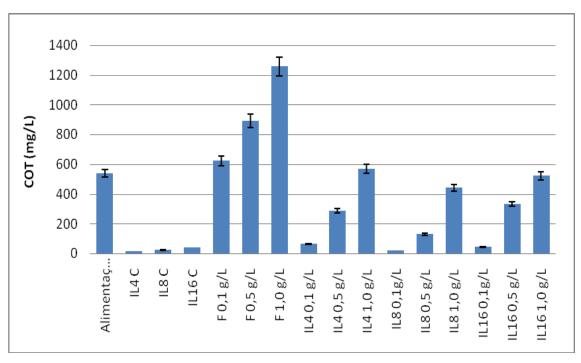


Figura 19: representação das análises de COT residual após os ensaios de controle e com adição de fenol.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,1g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL8 0,1g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL16 0,1g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL4 0,5 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL8 0,5 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL8 1,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol;

Tabela 20: Remoção de COT para os ensaios de fenol.

Lodo Ativado	COT final (mg/L)	Remoção (%)
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	65,0	89,6
Efluente IL4 0,5g/L de fenol	288,0	53,8
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	570,8	54,7
Efluente IL8 0,1g/L de fenol	21,7	96,5
Efluente IL8 0,5g/L de fenol	129,8	85,5
Efluente IL8 1,0g/L de fenol	441,4	65,0
Efluente IL16 0,1g/L de fenol	46,5	92,5
Efluente IL16 0,5g/L de fenol	333,1	62,7
Efluente IL16 1,0g/L de fenol	523,4	58,4

Considerando um aumento do COT do afluente devido à introdução de fenol, verifica-se uma remoção de até 65% (441 mg/L) da COT para a idade de 8 dias na concentração de 1,0 g/L, enquanto para concentrações de 0,1 e 0,5 mg/L apresentou uma remoção de 94 e 85% (22 e 130 mg/L), respectivamente.

Para avaliar a presença de compostos orgânicos complexos utilizou-se a absorvância em 254nm, conforme expostos na figura 20 e tabela 21.

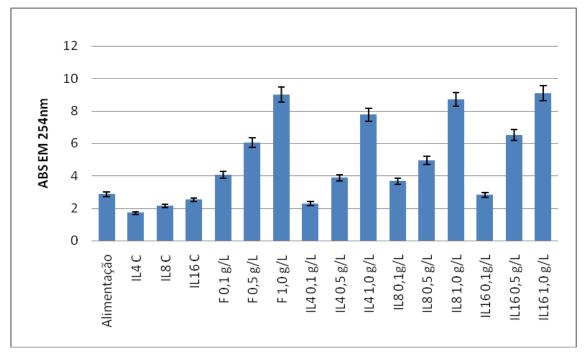


Figura 20: representação das análises de ABS residual após os ensaios de controle e com adição de fenol.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,1g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL8 0,1g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL16 0,1g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL4 0,5 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL8 0,5 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol;

Tabela 21: Remoção de ABS após os ensaios de fenol.

Lodo Ativado	ABS final (nm)	Percentual de remoção (%)
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	2,28	43,8
Efluente IL4 0,5g/L de fenol	3,881	35,8
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	7,765	13,8
Efluente IL8 0,1g/L de fenol	3,66	9,8
Efluente IL8 0,5g/L de fenol	4,941	18,3
Efluente IL8 1,0g/L de fenol	8,721	3,2
Efluente IL16 0,1g/L de fenol	2,811	30,7
Efluente IL16 0,5g/L de fenol	6,52	-7,8
Efluente IL16 1,0g/L de fenol	9,105	-1,0

Como fenol é uma substância orgânica aromática, há um aumento no valor da absorbância a 254 nm. Esse fato somado ao fato que há possível inibição e liberação de produtos celulares, as remoções obtidas de absorvância, em geral, foi baixa, e em alguns casos mostrando acúmulo de substâncias que absorvem nesse comprimento de onda. Desta forma, é normal observar um aumento nos valores de absorvância, principalmente com o aumento da concentração de fenol adicionado.

Já as concentrações de fenol são representadas pela Figura 21, abaixo juntamente com a tabela 22.

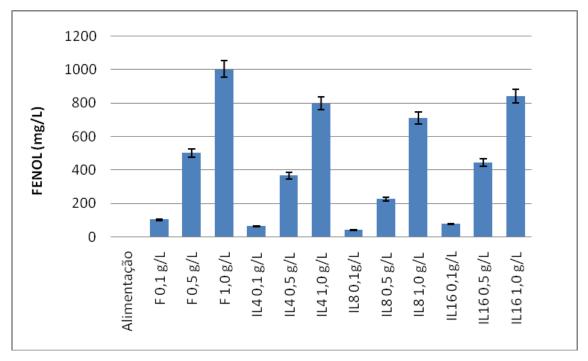


Figura 21: representação das análises de Fenol residual após os ensaios de controle e com adição de fenol.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,1g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL8 0,1g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL16 0,1g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL8 1,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL16 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol;

Tabela 22: Remoção de fenol após os ensaios com fenol.

Lodo Ativado	Fenol (mg/L)	Percentual de remoção (%)
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	63	38,2
Efluente IL4 0,5g/L de fenol	365	27,1
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	798	20,4
Efluente IL8 0,1g/L de fenol	40	60,8
Efluente IL8 0,5g/L de fenol	226	54,9
Efluente IL8 1,0g/L de fenol	712	29,0
Efluente IL16 0,1g/L de fenol	76	25,5
Efluente IL16 0,5g/L de fenol	444	11,4
Efluente IL16 1,0g/L de fenol	842	16,1

Conforme já indicado antes a adição de fenol é uma substância de difícil degradação por ser aromática precisando de uma população do lodo mais desenvolvido e consequentemente com um maquinário enzimático mais especifico para esta molécula. Com isto, a redução dos valores de fenol são baixas, , conforme visto nas análises de DQO e COT. A maior redução de fenol ocorreu na idade do lodo de 8 dias, sendo que as porcentagens de redução em 0,1 e 0,5 g/L se apresentaram muito próximas com 60% e 55% respectivamente. Para as outras idades do lodo e concentrações de fenol não superaram a remoção de 39% no lodo de 4 dias na concentração de 0,1 g/L.

## 4.2. SIMULAÇÃO COM PROCESSO PACT

A Figura 22 ilustra os resultados obtidos de consumo de oxigênio nas idades de lodo de 4, 8 e 16 dias no tempo 5 minutos e depois de 24h de aeração. A tabela 23, mostra os dados de TCO obtidos pelos dados da Figura 22.

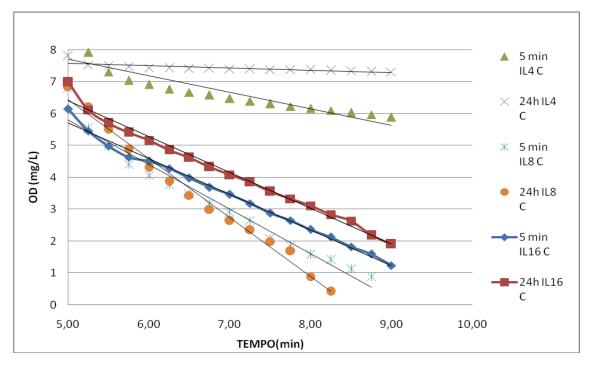


Figura 22: Consumo de OD na presença de efluente sintético no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias

Tabela 23: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	34,57
IL4 24h	11,28
IL8 5 min	86,09
IL8 24h	110,7
IL16 5 min	66,88
IL16 24h	67,4

Como o PACT não apresenta diferença entre os diferentes testes por apresentar a mesma concentração em todos, a diferença de TCO obtidas é devido a idade do lodo. Costa (2002) após submeter o sistema de lodos ativados e ao processo PACT ao contato com efluente de indústria, pode averiguar que a atividade metabólica da biomassa se reduziu com a redução do tempo de exposição ao efluente (TRH), mas com a adição de carvão ativado ao sistema o TRH é igual a idade do lodo já que o carvão realiza adsorção destas substâncias, o que possibilita um maior contato com o substrato e assim um maior metabolismo da biomassa.

A Tabela y ilustra os resultados dos parâmetros físico-químicos após 24 horas de aeração para as diferentes idades de lodo estudadas.

Tabela 24: Parâmetros físico-químicos do efluente sintético e das diferentes idades de lodo estudadas no Processo PACT.

Ensaios	Efluente	IL4	IL8	IL16
DQO(mg/L)	1234	276,5	137,7	678,9
COT(mg/L)	540,3	276,5	137,7	678,9
ABS	2,5493	2,339	1,592	2,855
Cloreto (mg/L)	106,5	106,5	106,5	106,5
Fenol(mg/L)	0	0	0	0

### 4.2.1. Impactos do NaCl

A Figura 23 e Tabela 25 ilustra os resultados das idades do lodo estudadas para o PACT com adição de 0,3g/L de cloreto de sódio para os tempos de 5 minutos e 24h.

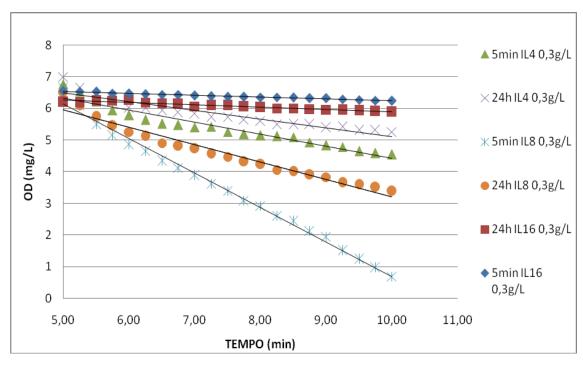


Figura 23: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 0,3 g/L de NaCl no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: L4 0,3 g/L, IL8 0,3 g/L e IL16 0,3 g/L).

Tabela 25: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,3 g/L de NaCI.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	22,70
IL4 24h	16,62
IL8 5 min	65,21
IL8 24h	32,95
IL16 5 min	3,60
IL16 24h	4,40

De acordo com os valores de TCO obtidos pode-se verificar que os maiores valores foram obtidos pelo lodo com a idade de 8 dias. Mas a idade do lodo de 4 dias teve uma menor redução da TCO, consequentemente uma menor influência no metabolismo do lodo. A idade do lodo de 8 dias apresentou os maiores valores de TCO entre as idades do lodo estudadas. O lodo de idade de 16 dias teve uma leve alteração na TCO após 24hs, mas mantendo se próxima a inicial e ainda assim permaneceu com o menor valor da TCO entre os valores de 24h.

Para os testes com adição de 1,0g/L de NaCl pode-se observar os resultados obtidos na Figura 24 e tabela 26.

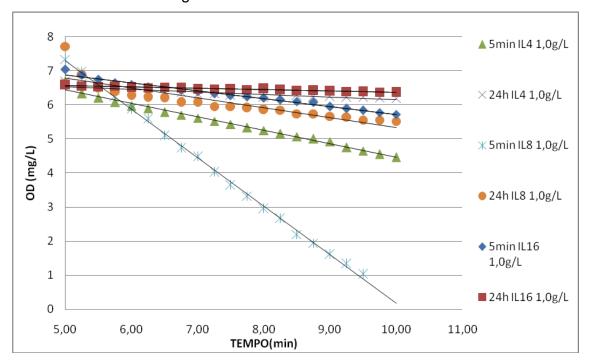


Figura 24: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 1,0 g/L de NaCl no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: L4 1,0 g/L, IL8 1,0 g/L e IL16 1,0 g/L).

Tabela 26: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 1,0 g/L de NaCI.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	23,67
IL4 24h	4,71
IL8 5 min	17,33
IL8 24h	85,14
IL16 5 min	13,87
IL16 24h	2,41

Na idade de lodo de 8 dias, de acordo com as Figuras 25 e a tabela 26, o Processo PACT apresentou uma maior atividade que do Lodo Ativado. O Lodo Ativado após 24 horas apresentou uma redução significativa na TCO, enquanto o PACT manteve seu desempenho. A inclinação da reta da equação (TCO) de 24horas para o lodo ativado teve uma elevada redução comparada com a mesma de injeção do efluente sintético com sal de 1,0 g/L para o PACT.

A Figura 26 e Tabela 27 representam os resultados após os testes respirométricos com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCl.

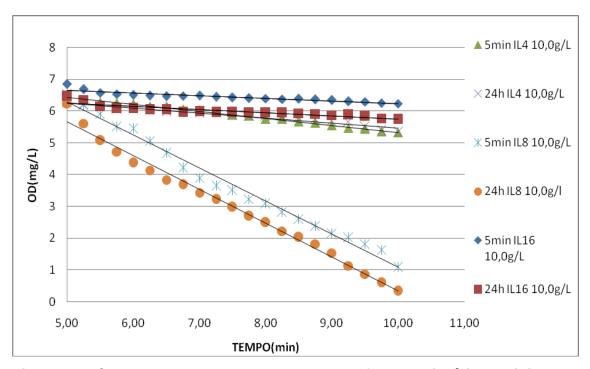


Figura 25: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 10,0 g/L de NaCl no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).Idade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: IL4 0,1 g/L, IL8 0,1 g/L e IL16 0,1 g/L).

Tabela 27: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 10,0 g/L de NaCI.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	13,26
IL4 24h	9,39
IL8 5 min	62,30
IL8 24h	63,84
IL16 5 min	5,06
IL16 24h	5,93

Com os dados obtidos, o PACT se apresentou com mais atividade por apresentar uma menor redução da TCO, que o processo de Lodo. Assim, pela inclinação da reta (TCO) dos ensaios pode-se verificar que o Processo PACT se mostrou mais eficiente (um comportamento constante) do que o Lodo Ativado, confirmando a maior atividade do lodo pela adição do carvão ativado

em pó. Como descrito por Machado (2010) que utilizou os dois processos para o tratamento de efluente de refinaria e obteve resultados mais favoráveis com o PACT do que com o lodo ativado para remoção de DQO, COT e Abs em 254nm indicando um melhor desempenho associado a inclusão do carvão ativado ao lodo.

Na figura 26 e tabela 28 pode-se analisar a remoção e DQO residual após os testes de salinidade.

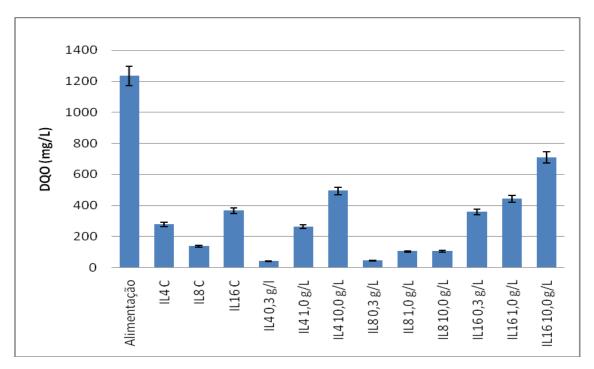


Figura 26: Representação da DQO residual após os ensaios com salinidade e controle expostos ao Processo PACT.

Legenda: IL4C - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,3g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl: IL8 0,3q/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL16 0,3g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL4 1,0 g/L idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL8 1,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL16 1,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL4 10,0 g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCl; IL8 10,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCl; IL16 10,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI:

Tabela 28: Remoção de DQO após os ensaios com salinidade.

PACT	DQO final (mg/L)	Percentual de remoção (%)
IL4 0,3g/L de NaCl	40	96,8
IL4 1,0g/L de NaCl	493,3	60,0
IL4 10,0 g/L de NaCl	263,3	78,7
IL8 0,3 g/L de NaCl	45	96,4
IL8 1,0 g/L de NaCl	103,3	91,6
IL8 10,0 g/L de NaCl	104,3	91,5
IL16 0,3 g/L de NaCl	356,7	71,1
IL16 1,0 g/L de NaCl	710	42,5
IL16 10,0 g/L de NaCl	443,3	64,1

Nas Figuras acima verifica-se uma elevada redução dos valores de DQO pelo Processo PACT, assim como verificado por Machado(2010) em relação ao sistema de lodos ativados. Onde a idade do lodo de 8 dias apresentou um melhor desempenho comparado as outras idades estudadas, apresentando remoções entre 91 e 96% para as diferentes concentrações de NaCl.

Para avaliar a remoção de COT tem-se as Figuras 27 e tabela 29 para o Processo PACT .

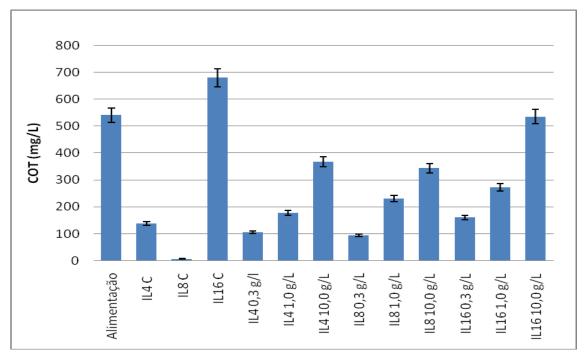


Figura 27: Representação da COT residual após os ensaios com sainidade e controle expostos ao Processo PACT.

Legenda: IL4C - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,3g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL8 0,3g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL16 0,3g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL4 1,0 g/L idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL8 1,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL16 1,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL4 10,0 g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCl; IL8 10,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL16 10,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI;

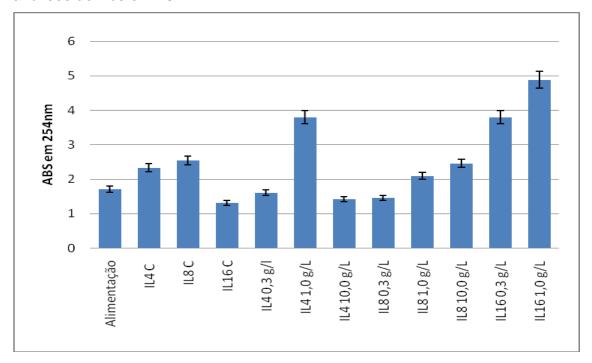
Tabela 29: remoção de COT após ensaios com salinidade.

PACT®	COT final (mg/L)	Percentual de remoção (%)
IL4 0,3g/L de NaCl	105,8	80,4
IL4 1,0g/L de NaCl	178	67,1
IL4 10,0 g/L de NaCl	367	32,1
IL8 0,3 g/L de NaCl	94,5	82,5
IL8 1,0 g/L de NaCl	273,3	50,4
IL8 10,0 g/L de NaCl	343,8	36,4
IL16 0,3 g/L de NaCl	160,8	70,2
IL16 1,0 g/L de NaCl	230,7	57,3
IL16 10,0 g/L de NaCl	534,7	1,0

Houve uma redução da COT para todas as concentrações de sal, assim como para com todas as idades de lodo com exceção da idade de 16 dias na presença de 10,0 g/L de NaCl que obteve redução de apenas 1%. Mas nas idades de 4 e 8 dias do lodo para a concentração de 0,3 g/L temos uma redução de COT em torno de 80%. Para a concentração de 1,0 g/L temos reduções acima de 50% para todas as idades do lodo. Devido a capacidade de adsorção do carvão pode-se inferir esta remoção de COT (MACHADO, 2010). Para a idade de lodo de 16 dias na concentração de 10,0 g/L de NaCl tem-se uma remoção insignificante de 1% de COT devido ao aumento de compostos

orgânicos provenientes da possívelmente a lise celular de parte da biomassa promovida pela elevada concentração de sal (DAN *et al, 2003*).

Nas figuras 28 e tabela 30 apresenta-se os resultados obtidos para as análises de Abs em 254 nm.



:Figura 28 Representação da Abs em 254nm residual após os ensaios com sainidade e controle expostos ao Processo PACT.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,3g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL8 0,3g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCl; IL16 0,3g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL4 1,0 g/L idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL8 1,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL16 1,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCl; IL4 10,0 g/L - idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCl; IL8 10,0 g/L - idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL16 10,0 g/L - idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI:

Tabela 30: Remoção de ABS após os ensaios com salinidade.

PACT®	ABS final (nm)	Percentual de remoção (%)
IL4 0,3g/L de NaCl	1,313	48,5
IL4 1,0g/L de NaCl	1,616	36,6
IL4 10,0 g/L de NaCl	3,802	-62,5
IL8 0,3 g/L de NaCl	1,461	37,5
IL8 1,0 g/L de NaCl	1,421	39,2
IL8 10,0 g/L de NaCl	2,162	10,1
IL16 0,3 g/L de NaCl	2,465	-5,4
IL16 1,0 g/L de NaCl	3,796	-62,3
IL16 10,0 g/L de NaCl	4,886	-108,9

Pode-se observar que com o aumento da concentração de sal tem um aumento da absorvância, residual após os testes, conforme citado anteriormente devido ao aumento de substâncias orgânicas no meio pelo favorecimento de lise celular (DAN et al, 2002)

Na figura 29 apresenta-se os resultados obtidos para as análises de cloreto nos ensaios.

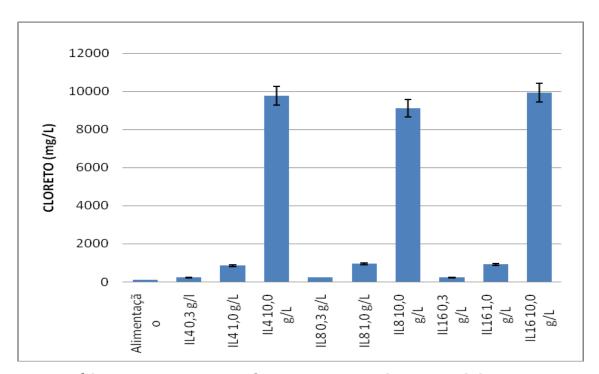


Figura 29: Análise da presença de Cloreto nos ensaios de salinidade e controle.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,3g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de

NaCI; IL8 0,3g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL16 0,3g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,3g/L de NaCI; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL8 1,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL16 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de NaCI; IL4 10,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL8 10,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL16 10,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 10,0g/L de NaCI; IL16 10,0 g/L – idade de NaCI;

Como observado nos ensaios com Lodos Ativados, verifica-se que o PACT não obteve modificação das concentrações de cloreto nas amostras nem que foram introduzidas sal. Assim, o cloreto permaneceu presente por todo o tempo dos ensaios, não sendo removido, como era esperado.

## 4.2.2. Avaliação do impacto de Fenol

A Figura 30 ilustra os resultados das diferentes idades do lodo para os ensaios com adição de 0,1g/L de fenol para os tempos de 5 minutos e 24h. A Figura30x e a tabela 30 mostram os resultados obtidos pelo TCO.

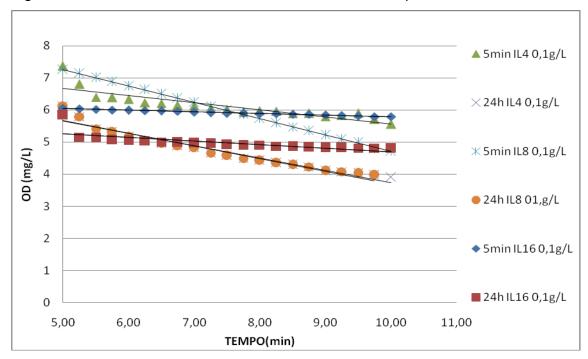


Figura 30: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 0,1 g/L de fenol no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5

minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: L4 0,1 g/L, IL8 0,1 g/L e IL16 0,1 g/L).

Tabela 31: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,1 g/L de fenol.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	13,34
IL4 24h	23,02
IL8 5 min	30,64
IL8 24h	23,64
IL16 5 min	3,09
IL16 24h	6,58

Espera-se um aumento da taxa de consumo de oxigênio visto que o fenol é biodegradável (ECKENFELDER, 1999) e nessa concentração ainda não apresenta efeitos de inibição. A exceção foi o sistema operado na idade do lode de 16 dias que apresentou valores baixos de TCO, provavelmente devido à não capacidade do lodo em metabolizar uma carga extra de matéria orgânica.

Quando compara-se os valores de TCO obtidos pelo lodo e pelo PACT observa-se valores maiores para os ensaios do PACT. Mostrando que o fenol reduz o metabolismo da biomassa no Lodo Ativado pela complexidade de sua estrutura, enquanto o carvão do PACT adsorve o fenol que permite um tempo de contato maior entre substrato e lodo.

Para concentrações de fenol de 0,5 g/L para as diferentes idades do lodo apresenta-se a Figura 31 e a Tabela 31 com os valores de TCO.

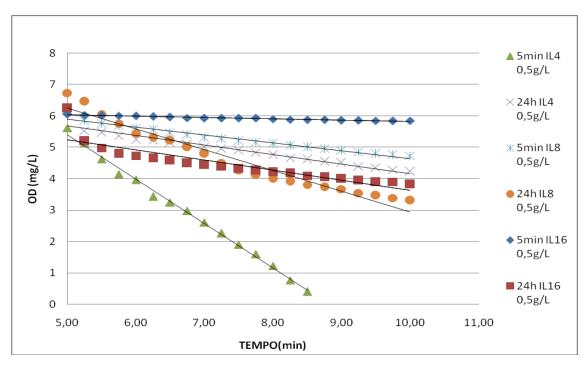


Figura 31: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 0,5 g/L de fenol no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: L4 0,5 g/L, IL8 0,5 g/L e IL16 0,5 g/L).

Tabela 32: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 0,5 g/L de fenol.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	84.59
IL4 24h	18,14
IL8 5 min	15,01
IL8 24h	39,5
IL16 5 min	2,5
IL16 24h	19,1

Os resultados mostram que perante a exposição de fenol de 0,5 g/L as diferentes idades do lodo, o lodo com 4 dias de idade manteve elevados valores de TCO, devido a uma maior carga de matéria orgânica para remoção não mostrar efeito inibitório. Para o sistema operado com idade do lodo de 8 dias houve um aumento de 60% indicando uma adaptação do lodo a exposição

de fenol após 24h. Já a idade do lodo de 16 dias não há alteração dos valores de TCO, que são baixos indicando uma influência do fenol no seu metabolismo.

As Figura 32 e Tabela 32 representam os ensaios de respirometria em concentração de 1,0g/L para as diferentes idades de lodo.

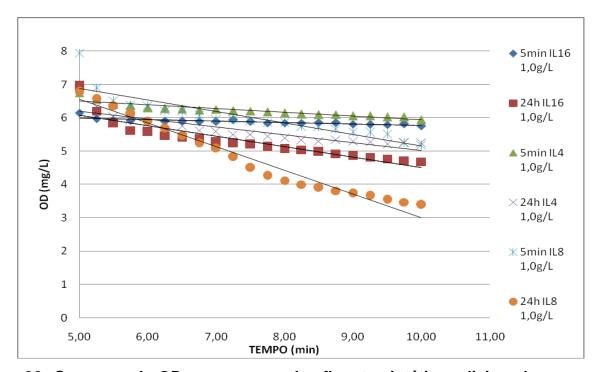


Figura 32: Consumo de OD na presença de efluente sintético adicionada de 1,0 g/L de fenol no Processo PACT. Tempos de aeração avaliados: 5 minutos e 24 horas (legenda: 5 min ou 24h).ldade do lodo: 4, 8 e 16 dias (Legenda: L4 1,0 g/L, IL8 1,0 g/L e IL16 1,0 g/L).

Tabela 33: Representação da TCO obtida pelas equações de retas (coeficiente angular) dos ensaios realizados com adição de 1,0 g/L de fenol.

Teste	TCO (mg/L.h)
IL4 5 min	6,47
IL4 24h	14,12
IL8 5 min	20,74
IL8 24h	42,36
IL16 5 min	2,67
IL16 24h	18,82

Apesar de ser uma concentração considerada inibitória para o sistema biológico (GERARDI, 2002), o impacto é pouco sentido no sistema, o menos impactado é a idade do lodo de 8 dias, pelos mesmos motivos expostos anteriormente. Onde o lodo de 8 dias de idade obteve um aumento do valor de

TCO após 24h, devido a aclimatação do lodo com o fenol. Observamos no lodo de idade de 16 dias um aumento da TCO após 24 horas de exposição ao fenol, assim como na idade de 4 dias do lodo, mas apresentam valores de TCO menor do que o valor de TCO obtido pelo lodo de 8 dias de idade.

Para complementar a discussão da TCO, as Figura 34 a 35 e as Tabelas 34 a 36 mostram os valores remoção de parâmetros DQO, COT e Abs em 254nm e fenol, respectivamente.

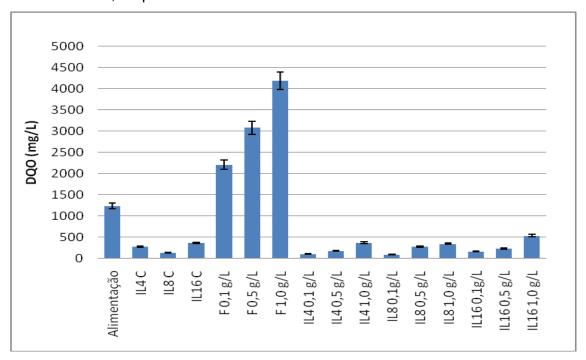


Figura 33: Representação da DQO residual após os ensaios com fenol e controle expostos ao Processo PACT.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,1g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL8 0,1g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL16 0,1g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL4 0,5 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL8 0,5 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL8 1,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol;

Tabela 34: Remoção de DQO após os ensaios com fenol.

Lodo Ativado	DQO final (mg/L)	Remoção (%)
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	105,8	95,4
Efluente IL4 0,5g/L de fenol	178	94,5
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	367	91,7
Efluente IL8 0,1g/L de fenol	94,5	95,9
Efluente IL8 0,5g/L de fenol	273,3	91,6
Efluente IL8 1,0g/L de fenol	343,8	92,2
Efluente IL16 0,1g/L de fenol	160,8	93,1
Efluente IL16 0,5g/L de fenol	230,7	92,9
Efluente IL16 1,0g/L de fenol	534,7	87,9

Apesar de apresentar elevadas TCO, o sistema operado com 4 dias não foi eficiente para remover a matéria orgânica presente, mostrando que mesmo apresentando elevada atividade, ele não foi eficiente para degradar toda a matéria orgânica. O sistema operado com idade do lodo de 8 dias apresentou uma maior remoção de DQO, de 60 a 83% para as concentrações de fenol estudadas.

Na figura 34 verificamos os resultados de COT para os teste com fenol e controle, e tabela 34 observa-se os resultados de remoção.

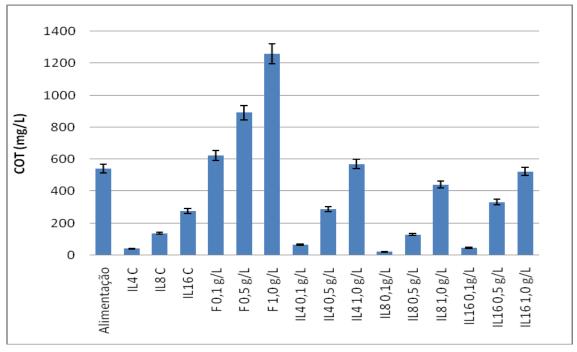


Figura 34: representação das análises de COT residual após os ensaios de controle e com adição de fenol.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,1g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL8 0,1g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL16 0,1g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol;

Tabela 35: Remoção de COT para os ensaios de fenol.

Lodo Ativado	COT final (mg/L)	Percentual de remoção (%)
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	65	89,6
Efluente IL4 0,5g/L de fenol	325	63,6
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	570,8	54,7
Efluente IL8 0,1g/L de fenol	21,7	96,5
Efluente IL8 0,5g/L de fenol	108,5	87,8
Efluente IL8 1,0g/L de fenol	441,4	65,0
Efluente IL16 0,1g/L de fenol	46,5	92,5
Efluente IL16 0,5g/L de fenol	232,5	73,9
Efluente IL16 1,0g/L de fenol	523,4	58,4

Pode-se observar que há uma redução da COT para todas as concentrações de fenol, onde a menor idade do lodo apresenta uma maior influência do fenol. Porém, se destacando a idade do lodo de 8 dias, os ensaios como fenol apresentaram uma maior remoção do que aos ensaios com salinidade, como uma remoção de 88% de fenol a concentração de 0,5 g/L. da mesma forma que esta idade do lodo apresentou uma maior remoção comparada com as outras idade de lodo estudadas.

Na figura 35 e tabela 35 apresenta-se os resultados obtidos para as análises de ABS em 254 nm.

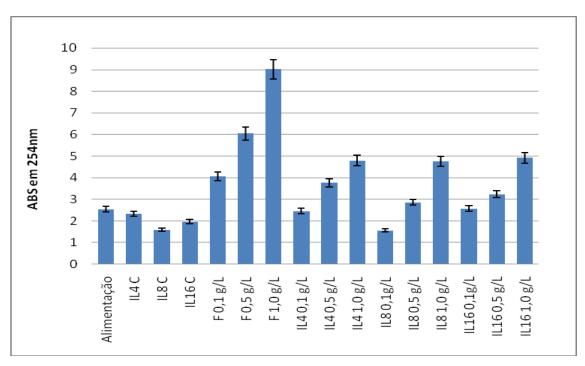


Figura 35: representação das análises de ABS residual após os ensaios de controle e com adição de fenol.

Legenda: IL4C – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL8C – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL16C – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético; IL4 0,1g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL8 0,1g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL16 0,1g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL4 0,5 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL8 0,5 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL8 1,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL16 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol;

Tabela 36: Remoção de ABS para os ensaios de fenol.

Lodo Ativado	ABS final (nm)	Percentual de remoção (%)
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	2,462	39,3
Efluente IL4 0,5g/L de fenol	3,77	37,6
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	4,796	46,8
Efluente IL8 0,1g/L de fenol	1,57	61,3
Efluente IL8 0,5g/L de fenol	2,864	52,6
Efluente IL8 1,0g/L de fenol	4,751	47,3
Efluente IL16 0,1g/L de fenol	2,576	36,5
Efluente IL16 0,5g/L de fenol	3,235	46,5
Efluente IL16 1,0g/L de fenol	4,922	45,4

Apesar da adição do fenol que é uma substância complexa, houve uma redução mais significativa a estes ensaios do que os ensaios com lodos ativados, principalmente para as concentrações mais elevadas e na idade do lodo de 8 dias. Além disto pode-se observar que os resultados de remoção para os teste de fenol são maiores do que para os testes de salinidade, este fato é devido a lise celular causada pelo cloreto de sódio a biomassa, que libera outras substâncias complexas do seu interior.

O teor de remoção dos ensaios de PACT em geral teve maiores valores que o sistema de Lodos Ativados, apresentando uma pequena diferença para a idade de lodo de 4 dias, mas para idades de 8 e 16 dias tem um aumento de remoção. Para as concentrações de 0,5 e 1,0 g/L de fenol a idade do lodo de 16 dias teve remoção próxima de 46%, e a idade do lodo de 8 dias apresentou remoção entre 47 e 61% para todas as concentrações de fenol enquanto o lodo ativado obteve a remoção máxima de 30% para a idade do lodod de 16 dias na concentração de 0,1 g/L de fenol . Dentre as idades de lodo estudadas no Processo PACT, tem-se a idade de lodo de 8 dias apresentando os melhores teores de remoção de Abs em 254nm.

Devido às escalas serem muito diferentes os resultados de fenol foram plotados em dois gráficos: a Figura 36 ilustra a concentração de fenol na alimentação e para as adições de fenol enquanto a Figura 37 ilustra a concentração de fenol residual após os ensaios de adição de fenol.

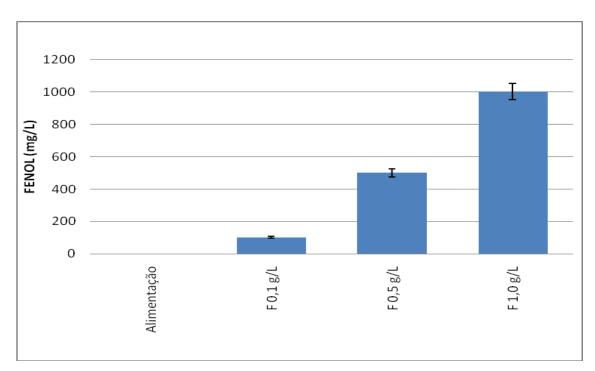


Figura 36: Fenol introduzido nos ensaios de fenol. Legenda: F 0,1 g/L-efluente sintético adicionado de 0,1 g/L de fenol; F 0,5 g/L- efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; F 1,0 g/L- efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol;

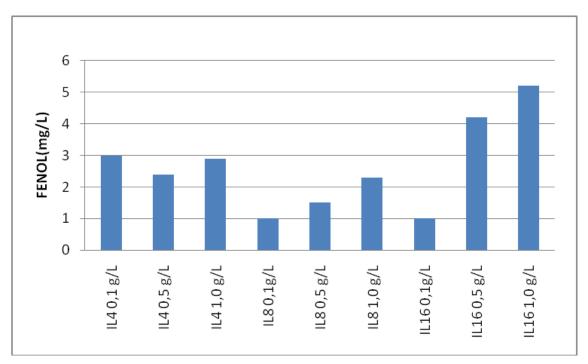


Figura 37: Análise da presença de Fenol residual nos ensaios de fenol e controle.

Legenda: IL4 0,1g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL8 0,1g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL16

0,1g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,1g/L de fenol; IL4 0,5 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL8 0,5 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5g/L de fenol; IL16 0,5 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 0,5 g/L de fenol; IL4 1,0 g/L – idade de 4 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0 g/L de fenol; IL8 1,0 g/L – idade de 8 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de fenol; IL16 1,0 g/L – idade de 16 dias do lodo apenas com efluente sintético adicionado de 1,0g/L de fenol;

Tabela 37: Remoção de fenol após os ensaios com fenol.

PACT	Fenol (mg/L)	Remoção (%)
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	3	97,059
Efluente IL4 0,5g/L de fenol	2,4	99,521
Efluente IL4 0,1g/L de fenol	2,9	99,711
Efluente IL8 0,1g/L de fenol	1	99,020
Efluente IL8 0,5g/L de fenol	1,5	99,701
Efluente IL8 1,0g/L de fenol	2,3	99,771
Efluente IL16 0,1g/L de fenol	1	99,020
Efluente IL16 0,5g/L de fenol	4,2	99,162
Efluente IL16 1,0g/L de fenol	5,2	99,482

Os resultados mostram que a remoção de fenol chega a mais de 99% para o Processo PACT. . Esta eficiência de remoção ocorre em parte pela degradação biológica e adsorção no carvão ativado em pó. As concentrações residuais não superam o valor de 5,2 mg/L referente a idade do lodo de 16 dias na concentração de 1,0 g/L. Assim, obteve-se uma maior remoção de fenol pelo Processo PACT do que pelo sistema de Lodos Ativados.

## 4.3. RESUMO DOS RESULTADOS

Para facilitar a compreensão e visualização dos resultados obtidos nos ensaios com sistema de Lodos Ativados e Processo PACT, foi construída uma tabela onde se encontram as faixas e as médias dos valores dos percentuais de remoção para os parâmetros DQO, COT, Absorvância a 254 nm, e fenol para os teste que tiveram sua adição, que são os indicativos para matéria orgânica, objetivo do trabalho.

A Tabela X resume os percentuais de remoção COT, DQO e Absorvância para os ensaios com NaCl introduzido ao Lodo ativado.

Tabela x: Resultados de TCO e remoção de DQO, COT e Abs em 254nm.

Lodo Ativado	TCO 5 min	TCO 24H	Eficiência de remoção DQO (%)	Eficiência de remoção COT (%)	Eficiência de remoção Abs 254NM (%)
IL4 0,3 g/l	69,5	25,23	80,4	80,6	48,5
IL4 1,0 g/L	33,62	32,23	68,1	67,1	36,6
IL4 10,0 g/L	46,06	26,98	38,5	95,2	-62,5
IL8 0,3 g/L	29,07	20,79	83,4	82,5	37,5
IL8 1,0 g/L	57,24	12,82	71,1	57,3	39,2
IL8 10,0 g/L	20,69	14,05	44,6	91,9	10,1
IL16 0,3 g/L	5,96	6,04	67,2	70,2	-5,4
IL16 1,0 g/L	6,25	2,69	64,7	49,4	-62,3
IL16 10,0 g/L	2,41	10,04	37,4	91,9	-108,9

A Tabela X resume os percentuais de remoção COT, DQO e Absorvância para os ensaios com NaCl introduzido ao Processo PACT.

Tabela x: Resultados de TCO e remoção de DQO, COT e Abs em 254nm.

Processo PACT	TCO 5 min	TCO 24H	Eficiência remoção (%)	de DQO	Eficiência remoção (%)	de COT	Eficiência remoção 254NM (%)	de Abs
IL4 0,3 g/l	17,15		96,8		80,4		59,7	
IL4 1,0 g/L	23,67	4,71	60		67,1		25	
IL4 10,0 g/L	13,25	9,39	78,7		32,1		-41,9	
IL8 0,3 g/L	16,55	2,18	96,4		82,5		32,3	
IL8 1,0 g/L	17,33	85,14	91,6		50,4		45	
IL8 10,0 g/L	62,30	63,84	91,5		36,4		14	
IL16 0,3 g/L	38,78	1,23	71,1		70,2		-37,1	
IL16 1,0 g/L	13,87	2,41	42,5		57,3		-0,6	
IL16 10,0 g/L	5,06	5,93	64,1	•	1		-86,1	•

A Tabela X resume os percentuais de remoção COT, DQO e Absorvância para os ensaios com NaCl introduzido no Lodo Ativado.

Tabela x: Resultados de TCO e remoção de DQO, COT e Abs em 254nm.

Lodo Ativado	TCO 5 min	TCO 24H	Eficiência de remoção DQO (%)	Eficiência de remoção COT (%)	Eficiência de remoção Abs 254NM (%)	Eficiência de remoção fenol (%)
IL4 0,3 g/l	69,5	25,23	32,9	89,6	43,8	38,2
IL4 1,0 g/L	87,57	85,5	48	53,8	35,8	27,1
IL4 10,0 g/L	46,81	41,31	44,3	54,7	13,8	20,4
IL8 0,3 g/L	66,21	32,95	83	96,5	9,8	60,8
IL8 1,0 g/L	12,56	20,32	75,2	85,5	18,3	54,9
IL8 10,0 g/L	16,25	18,23	59,8	65	3,2	29
IL16 0,3 g/L	3,60	4,40	58	92,5	30,7	25,5
IL16 1,0 g/L	2,57	2,09	68	62,7	-7,8	11,4
IL16 10,0 g/L	2,47	9,96	37	58,4	-1	16,1

A Tabela X resume os percentuais de remoção COT, DQO e Absorvância para os ensaios com NaCl introduzido ao Processo PACT.

Tabela x: Resultados de TCO e remoção de DQO, COT e Abs em 254nm.

Process o PACT	TCO 5 min	TCO 24H	Eficiência de remoção DQO (%)		Eficiência de remoção Abs 254NM (%)	Eficiência de remoção fenol (%)
IL4 0,3 g/l	13,34	23,02	95,4	89,6	39,3	97,059
IL4 1,0 g/L	84,59	18,14	94,5	63,6	37,6	99,521
IL4 10,0 g/L	6,47	14,12	91,7	54,7	46,8	99,711
IL8 0,3 g/L	30,64	23,64	95,9	96,5	61,3	99,02
IL8 1,0 g/L	15,01	39,01	91,6	87,8	52,6	99,701
IL8 10,0 g/L	20,74	42,36	92,2	65	47,3	99,771
IL16 0,3 g/L	3,09	6,58	93,1	92,5	36,5	99,02
IL16 1,0 g/L	2,5	19,1	92,9	73,9	46,5	99,162
IL16 10,0 g/L	2,67	18,82	87,9	58,4	45,4	99,482

A partir dos resultados obtidos pode-se observar que o carvão ativado em pó conferiu uma maior estabilidade ao lodo ativado exposto as diferentes concentrações de cloreto de sódio e posteriormente de fenol. Esta estabilidade é devido ao poder de adsorção do carvão ativado em pó, que permite que o lodo não sinta fortemente os choques de carga pois parte desta carga é adsorvida pelo carvão e posteriormente degradada pelo lodo.

Os resultados respirométricos mostraram que devido a adição do carvão ativado em pó ao sistema de Lodos Ativados houve uma menor redução da TCO pelos microrganismos presentes, como observado por Sher (2000). Assim, mesmo com valores elevados de cloreto de sódio ou de fenol não teve redução acentuada, principalmente pelo lodo de idade de 8 dias.

Os melhores resultados de remoção para DQO, COT, Abs em 254nm e fenol, foram todos obtidos pela utilização do carvão ativado em pó, assim como nos trabalhos de Machado (2010) e Maia (2012). Foi possível verificar também que as melhores respostas foram obtidas para estes parâmetros foi o lodo de 8 dias de idade.

Para remoção de DQO tanto o sistema de Lodos Ativados obteve uma remoção máxima de 85% para o lodo de 8 dias com 0,3 g/L de sal e de 83% para 0,1 g/L de fenol. Em relação a adição de fenol foi observado que quanto maior a concentração menor é a remoção de DQO e que também quanto menor a idade do lodo menor será a remoção.

Em relação ao COT pode-se verificar que quanto maior a concentração tanto de cloreto quanto de fenol, tem-se um aumento do COT em relação as idades do lodo, novamente foi o lodo de 8 dias de idade que apresentou os melhores resultados para os testes com fenol apresentando uma remoção de até 96% de COT, enquanto por pequena diferença de 2% o lodo de 4 dias apresentou melhores resultados para os testes com salinidade, o que confere ao lodo de 8 dias de idade uma melhor uniformidade dos resultados.

A análise de absorvância em 254nm que mostrou resultados mais eficientes foi a idade do lodo de 4 dias para o sistema de Lodos Ativados e para o PACT lodo de 8 dias de idade. O PACT mostrou para o lodo de 8 dias de idade uma remoção entre 47 e 61%, enquanto o Lodo Ativado obteve uma remoção máxima de 45%. Isto ocorre devido a lise celular causada pelas

elevadas concentrações de sal em contato com o lodo como observado por Dan et al (2003), assim a lise celular disponibiliza os compostos orgânicos e principalmente componentes aromáticos e refratários aumentando a absorvância do efluente. Desta forma, com uma menor biomassa ativa há a dificuldade de remoção destes compostos que conferem o aumento do absorvância.

Além de inibitória em altas concentrações, interfere nas análises de DQO, COT e Abs em 254nm. Dos testes realizados os melhores resultados foram obtidos pelo Processo PACT como foi descrito por Machado (2010), onde a média de remoção de todas as idades de lodo foi de 99%, enquanto no sistema de Lodos Ativados teve sua maior remoção de 61% para a concentração de 0,1 g/L para a idade de 8 dias do lodo. Então devido a maior degradação do fenol pelo Processo PACT contribui para os melhores resultados de DQO, COT e ABS, como visto anteriormente.

Assim, com os resultados obtidos de TCO e de remoção dos parâmetros físico-químicos pode-se observar que a TCO se manteve mais constante nos ensaios com o Processo PACT, enquanto para o lodo ativado variou muito. A idade do lodo de 8 dias dentro dos ensaios com PACT foi a que mais se mostrou constante e apresentou os maiores valores de TCO, o que confere uma idade de lodo com atividade satisfatória e eficiente principalmente quando comparado com a eficiência de remoção dos parâmetros de DQO, COT e Abs em 254nm. Este maior desempenho do PACT está associada a adsorção pelo carvão de compostos orgânicos, e pela reposição do carvão após purga pois com a reposição de carvão "virgem" ao sistema haverá mais adsorção destes compostos.

## 5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

O presente estudo avaliou o uso do carvão ativado em pó no tratamento biológico de efluente sintético, simulando efluente da indústria de petróleo, como água de produção e de refinaria.

Pode-se observar que a idade do lodo interfere no desempenho do processo utilizado. Onde a idade intermediaria de 8 dias apresenta os melhores resultados de remoção para os parâmetros de DQO e COT tanto para o sistema de Lodos Ativados quanto ao PACT, apresentando uma aumento da TCO nos ensaios com a adição de fenol e nos ensaios com salinidade apresentou as menores reduções da TCO, evidenciando uma menor influência da salinidade para esta idade do lodo.

Apresentando uma máxima remoção de DQO de 85% para idade do lodo de 8 dias para sal de 0,3 g/L e de 83% para fenol de 0,5 g/L para o sistema de Lodos Ativados. Em relação ao COT uma remoção de 96% para sistema de lodos ativados com idade de8 dias e 94% para o sistema com idade do lodo de 4 dias. A absorvância obteve uma remoção máxima de 45% pelo lodo de 8 dias de idade. Enquanto a remoção de fenol obteve um valor máximo de 61% para 0,1 g/L de fenol para a idade do lodo de 8 dias.

Para o sistema PACT pode-se constatar uma remoção de DQO entre 91 e 97% em todos os testes de salinidade e fenol para a idade de lodo de 8 dias. Remoção de COT de até 85% para ensaio de salinidade e de 97% para ensaio de fenol para a idade de lodo de 8 dias, que também apresentou os maiores teores de remoção da absorbância em 254nm de 61% para ensaios de fenol e 57% para ensaios de salinidade. E na remoção de fenol apresentou remoção de 99%para todas as idades do lodo e para todas as concentrações de fenol introduzidas.

Tendo todos estes resultados pode-se considerar que devido aos melhores resultados do Processo PACT, este se mostra mais eficiente para o tratamento de efluentes que contenham elevadas concentrações de salinidade ou de fenol.

Mas vale ressaltar que ainda há a necessidade de maiores estudos sobre a influência destes compostos para o metabolismo do lodo para melhorar o desempenho destes. E que concentrações muito elevadas de sal como a de 10,0 g/L, utilizadas neste trabalho, dificulta a estabilização dos processos utilizados, principalmente o Lodo Ativado. Assim, as melhores condições dos testes de salinidade foram com o lodo de 8 dias de idade para a concentração de sal de 0,3 g/L principalmente em relação a DQO e COT. Já para as condições dos testes de fenol tem-se a melhor idade do lodo também de 8 dias com a concentração de 0,1 g/L. Os resultados obtidos para a concentração de 0,5 g/L de fenol apresenta remoções muito próximas da concentração de 0,1 g/L de fenol, um diferença menor de 10% entre elas. Para os ensaios de cloreto a diferença de remoção para as concentrações de 0,3 e 1,0 g/L NaCl são de 10% para DQO e Abs em 254nm, e para o COT de 30%. O que indica que sobre exposição as concentrações intermediárias de fenol (0,5 g/L) e de sal (1,0 g/L), ainda obtemos um bom desempenho do Processo PACT.

Desta forma, como sugestão para próximos estudos a utilização de efluentes que contenham elevadas concentrações de sal e fenol, juntos, para avaliar o desempenho do Processo PACT nestas condições, visando otimização e uniformidade no tratamento de efluentes complexos. Posteriormente realizar testes com efluente de fonte real, para avaliar a eficiência perante um efluente real de indústria de petróleo com elevadas concentrações de fenol e sal.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Alajbeg, I. Et Al. Comparison Of The Composition Of Some Petroleum Samples Which May Be Applied For Skin And Mucous Membrane Treatment. Journal Of Pharmaceutical And Biomedical Analysis, V. 22, N. 1, P. 75-84, 2000.

Alva-Argáez, A.; Kokossis, A.C.; Smith, R. The Design Of Waterusing Systems In Petroleum Refining Using A Water-Pinch Decomposition. Chemical Engineering Journal, V. 128, N. 1, P. 33-46, 2007.

Amaral, A.L.P. Image Analysis In Biotechnological Processes: Applications To Wastewater Treatment. 2003. (Dissertation Ph Degree In Chemical And Biological Engineering) – University Of Minho, Braga, Portugal, 2003.

Amini, S.; Mowla, D.; Golkar, M.; Esmaeilzadeh, F. (2012) Mathematical Modelling Of A Hydrocyclone For The Down-Hole Oil-Water Separation (Dows). Chemical Engineering Research And Design, V. 90, P. 2186-2195.

Amman, R.; Glöckner, F.O.; Neef, A. Modern Methods In Subsurface Microbiology: In Situ Identification Of Microorganisms With Nucleic Acid Probes. Fems Microbiology Reviews, V. 20, N. 3-4, P. 191-200, 1997.

Andretolla, G. Et Al. Método Respirométrico Para Monitoramento De Processos Biológicos. Engenharia Sanitária E Ambiental, [S.I.], V.10, N.1, P.14-23, Jan./Mar. 2005

Apha / Awwa / Wef: Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 21th. Ed. Usa, Apha, 2005.

Barron, M.G. Et Al. Are Aromatic Hydrocarbons The Primary Determinant Of Petroleum Toxicity To Aquatic Organisms Aquatic Toxicology, V. 46, N. 3-4, P. 253-268, 1999. Biológicos. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, [S.I.], V.10, N.1, P.14-23, Jan./ Mar. 2005.

Borges, V. A.; Freitas, R. A, W. H. Avaliação Preliminar Da Utilização De Carvão Ativado No Tratamento De Lixiviado De Aterro Sanitário. Resumo Do Projeto Final Apresentado À Escola De Química — Centro De Tecnologia Mineral-Ufrj, 2009.

Brown, T. Química: A Ciência Central. 9. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 972p.

Brower, J.E.; Zar, J.H. & Von Ende, C. 1997. Field And Laboratory Methods For General Ecology. Mcgraw-Hill.

Çakmakci, M. K.; Koyuncu, I. Desalination Of Produced Water From Oil Production Fields By Membrane Processes. Desalination, V.222. P. 176-186, 2008.

Campos, Juacyara Carbonelli. Processos Combinados Aplicados Ao Tratamento De Água De Produção De Petróleo. 2000. 176f. Tese (Doutor Em Ciência Em Engenharia Química) – Programa De Pós-Graduação Em Engenharia, Coppe, Rio De Janeiro, Rj.

Campos, J. C, *Et Al.* Oilfield Wastewater Treatment By Combined Microfiltration And Biological Process. Water Research, V. 36 P. 95-104, 2002.

Claudino, A. Preparação De Carvão Ativado A Partir De Turfa E Sua Utilização Na Remoção De Poluentes. Dissertação De Mestrado Da Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

Cetesb. 1992. Microbiologia De Lodos Ativados. Séries Manuais.

Chian E.S.K. And De Walle F.B. (1977). Treatment Of High Strength Acidic Wastewater With A Completely Mixed Anaerobic Filter. Water Research, 11, 295-304.

Ciola, R. Fundamentos Da Catálise. Editora Da Usp, 1ª Ed., São Paulo, 1981. 377p.

Cunha, Ananda Helena Nunes. Reúso De Água No Brasil, 2010. Monografia (Pós Graduação), Saneamento Ambiental, Universidade Gama Filho, Rio De Janeiro-Rj, 46p.

Dan, Et Al, 2002. Comparative Evaluation Of Yeast And Bacterial Treatment Of High Salinity Wastewater Based On Biokinetic Coefficients. Bioresource Technology 87 (2003) 51–56.

Eckenfelder, W. W. J. Industrial Water Pollution Control, Third Edition, The Mcgraw-Hill Series In Water Resources And Environmental Engineering, 1999.

Eikelboom, D.H. Process Control Of Activated Sludge Plant By Microscopic Investigation. Manual, Asis/Iwa, Londres, Reino Unido, 156 P, 2000.

Fernandes, J.G.S. Et Al. Utilização Da Respirometria No Controle Operacional De Sistemas Aeróbios De Tratamento De Águas Residuárias: A Experiência Da Cetrel. Revista Engenharia Sanitária E Ambiental, V. 6, N. 3, P. 131-137, 2001.

Ferreira, E.D.S. Et Al. Uso Da Respirometria Para A Caracterização De Esgotos Domésticos: Aplicação, Limites E Apresentação De Método Simplificado. In: Congresso Interamericano De Ingenieria Sanitaria Y Ambiental, 28, 2002, Cancún. Trabalho Completo. Cancún: [S.N.], 2002. P. 1-8.

Florido, P. Avaliação Do Lodo Biológico De Um Biorreator A Membrana Com Configuração Airlift No Tratamento De Efluente Sanitário. Programa De Engenharia Química. Coppe/ Ufrj, 2008.

Florido, P. E Santiago, V. M., 2001, Tratamento Do Efluente Da Etdi Da Regap Por Ultrafiltração Visando Reuso - Estado Da Arte, Relatório Técnico Rt Bio 38/01, Cenpes - Centro De Pesquisas E Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez De Mello, Rio De Janeiro, Rj, Brasil. Interamericano De Ingenieria Sanitaria Y Ambiental, 28, 2002,

Florido, P. L. Tratamento Do Efluente De Refinaria Pelo Processo Combinado De Adsorção Em Carvão Ativado E Biorreator Com Membranas. Tese (Doutorado Em Engenharia Química) – Coppe, Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio De Janeiro, 2011.

Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger, G.T., 1993, Manual On The Causes And Control Of Activated Sludge Bulking And Foaming. 2nd Edition. Michigan, Lewis Publishers.

Jenkins, D.; Richard, M.G.; Daigger, G.T. Manual On The Causes And Control Of Activated Sludge Bulking, Foaming, And Other Solids Separation Problems. 3. Ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 2003.

Jordão, E. P.; Pessôa C. A. Tratamento De Esgotos Domésticos. 3º Ed., Rio De Janeiro: Abes, 1995. Pp. 47-50.

Machado, C. R. De A., 2010, Avaliação De Processo Lodos Ativados Combinado Com Carvão Ativado Em Pó No Tratamento Do Efluente De Refinaria De Petróleo. Dissertação De Mestrado, Eq/Ufrj, Rio De Janeiro, Rj, Brasil.

Madoni, P. Et Al. Toxic Effect Of Heavy Metals On The Activated Sludge Protozoan Community. Water Research, V. 30, N. 1, P. 135-141, 1996.

Mariano, 2001. J. B. Impactos Ambientais Do Refino De Petróleo. Tese De M. Sc., Coppe/Ufrj, 2001.

Medeiros, V. A., 2004, Efeito Da Salinidade No Processo De Lodos Ativados No tratamento De Um Efluente Industrial Complexo. Dissertação De Mestrado, Coppe/Ufrj, Rio De Janeiro, Rj, Brasil.

Medeiros, V.A. Et Al. Avaliação Do Efeito As Salinidade E Da Adição De Um Suplemento Nutricional No Tratamento Biológico De Um Efluente Industrial Complexo. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 23., 2005, Campo Grande. Trabalho Completo. Campo Grande: [S.N.], 2005. P. 1-15.

Meidl, J. A. Responding To Changing Conditions: How Powdered Activated Carbon Systems Can Provide The Operational Flexibility Necessary To Treat

Contaminated Groundwater And Industrial Wastes, Carbon, V. 35, N. 9, P. 1207-1216, 1997.

Mesquita, D.P.; Coelho, M.A.Z.; Ferreira, E.C. Efeito Do Sal No Desempenho De Um Reator Batelada Sequencial. In: Xvi Congresso Brasileiro De Engenharia Química, 2006, Santos. Trabalho Completo. Santos: [S.N.], 2006. P. 1-7.

Metcaf E Eddy, Wastewater Engineering: Treatment And Reuse, 4<sup>a</sup>. Ed, Tchobanoglous, G., Burton, F L., Stensel, D. Metcalf E Eddy, Inc., Mcgraw Hill, 1819 P., 2003.

Nayar E Sylvester, 1978, Control Of Phenol In Bioloical Reactors By Adition Of Powred Activated Carbon. S.C. Nayar And N.D. Sylvester. Chemical Engineering Departament, Unisersity Og Tulsa. Tulsa,Ok, Usa. Water Research. Vol 13 Pg 201 A 205. 13 Fevereiro De 1978.

Nunes, G.C. (2010) Water Treatment In Brown Fields. In: International Seminar On Oilfield Water Management, 3., 2010, Rio De Janeiro. Apresentações... Rio De Janeiro: Ibp. Spe, 2010.

Portp, A. L., Uso Da Respirometria Para Carcterização Da Atividade Metabólica De Bactérias Heterotróficas. 2007. 77f. Tese (Mestrado Em Engenharia Civil E Ambiental) – Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil E Ambiental, Ufcg, Campina Grande, Sp.

Pujol, R. & Canler, J.P. 1992. Biosortion And Dynamics Of Bacterial Population In Activated Sludge. Water Research, V. 26(2), P. 209-212.

Riviere, L., Garland, E. Experience Of Produced Water-Treatment In The North Sea. Marine Pollution Bull., 29 (6-12), P. 312-316, 1994.

Rocha, C. M. Tratamento De Efluente Sanitário Gerado Em Shopping Center Por Biorreator A Membrana. Disseratção De Mestrado. Programa De Tecnologia De Processos Químicos E Bioquímicos. Escola De Química/Ufrj, 2006.

Sant'anna Jr., G. L. Tratamento Biológico De Efluentes - Fundamentos E Aplicações. Editora Zamboni, Rio De Janeiro, 2010. 398p, 2010.

Santos, Marcio Oliveira Dos, Indústria De Petróleo Offshore E Seus Impactos Ambientais: O Caso Da Bacia De Campos, Tese De M.Sc., Ppe/Coppe/Ufrj, Rio De Janeiro, 1995.

Santos, Amaro Carlos Dos. Desenvolvimento De Reatores Eletroquímicos Para O

Tratamento De Água Produção De Petróleo. 2006. 63f. Dissertação (Mestrado Em Ciência) – Programa De Pós-Graduação Em Química E Biotecnologia, Universidade

Federal De Alagoas, Maceió, Al.

Satchiw, R. Modelagem E Simulação Do Processo De Adsorção De Compostos Orgânicos Em Xisto Retornado. Tese De Doutorado, Utfpr, 2005.

Sher, M. I., Arbuckle, W. B., Shen, Z., 2000. Oxygen Uptake Rate Inibition With Pacttm Sludge. Journal Of Hazardous Materials, V.B73, P. 129-142, 2000.

Smith, P.J.; Vigneswaran, S.; Ngo, H.H.; Ben-Aim, R.; Nguyen, H. (2006) A New Approach To Backwash Initiation In Membrane Systems. Journal Of Membrane Science, V. 278, N. 1-2, P. 381-389.

Spanjers, H. Et Al. Respirometry In Control Of The Activated Sludge Process: Principles, Scientific And Technical Reports, N.7, lawg, London, 1998.

Sperling, M.V. Princípios Básicos Do Tratamento De Esgotos. Vol 2. Belo Horizonte: Departamento De Engenharia Sanitária E Ambiental, Universidade Federal De Minas Gerais, 1997.

Standard Methods. For Examination Of Water And Wastemaster.21st Edition. Centennial Edition, 4, 2005.

Stewart, M. & Arnold, K. (2011) Produced Water Treatment Field Manual. Part 1 - Produced Water Treating Systems, P. 1-134.

Stepnowski, P. Et Al. Enhanced Photo-Degradation Of Contaminants In Petroleum Refinery Wastewater. Water Research, V. 36, N. 9, P. 2167-2172, 2002.

Uygur, A.; Kargi, F.. Salt Inhibition On Biological Nutrient Removal From Saline Wastewater In A Sequencing Batch Reactor. Enzyme And Microbial Technology, [S.I.]., 34, [S.N.], P.313-318, 2003.

Van Haandel, A., M.,G. O Comportamento Do Sistema De Lodo Ativado, Epgraf,1999.Campina Grande,Epgraf,1999.

Vazollér, R.F. Microbiologia De Lodos Ativados. Cetesb, São Paulo, 1989.

Von Sperling, M. Princípio Do Tratamento Biológico De Águas Residuárias: Lodos Ativados, Ufmg, 1997.

Von Sperling, M.Lodos Ativados. Princípios Do Tratamento Biológico De Águas Residuárias, Ufmg, 1996.

Von Sperling, Marcos. Lagoas De Estabilização. 2 Ed. Belo Horizonte: Departamento De Engenharia Sanitária E Ambiental; Universidade Federal De Minas Gerais; 2002.

Wang, J.L.Et Al..Effect Of Salinity On The Performance Of Activated Sludge System,

Biomedical And Environmental Sciences, China, V.18, [S.N.], P.5-8, 2005.

Wang, D. Et Al. Biological Phosphorus Removal In Sequencing Batch Reactor With Single-Stage Oxic Process. Bioresource Technology, V. 99, N. 13, P. 5466-5473, 2008.

Wilén, B.M. Et Al. Influence Of Microbial Activity On The Stability Of Activated Sludge Flocs. Colloids And Surfaces B: Biointerfaces, V.18, [S.N.], P.145 – 156, 2000.