



DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE SAIS NA CONSTANTE DE TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA

Rosângela Maria da Silva¹, Danikelly da Silva Damasceno², Elivânia Vasconcelos Moraes dos Santos³, Jarbas Rodrigues Chaves⁴ Heraldo Antunes Silva Filho⁵

¹Graduanda em Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFCE Campus Limoeiro do Norte.email: Rosangela_ifce@hotmail.com

²Graduanda em Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFCE Campus Limoeiro do Norte.email: danikelly.damasceno204@gmail.com

³Professora do IFCE Campus Limoeiro do Norte.email: elivania@ifce.edu.br

⁴Tecnico de Laboratório no IFCE Campus Limoeiro do Norte.email: jarbasrodrigues@ifce.edu.br

⁵Professor do IFCE Campus Limoeiro do Norte.email: heraldo@ifce.edu.br

Resumo: A aeração em sistemas de tratamento de água residuárias, é feita de modo a garantir a transferência de oxigênio para o licor misto, onde o mesmo é consumido pelos microrganismos presentes, que agem no tratamento. Porém, o consumo de energia elétrica é um dos principais fatores a ser considerado nos custos operacionais de um sistema biológico aeróbio, isso porque os motores elétricos geralmente utilizados demandam um grande gasto de energia para garantir a aeração do licor misto, aonde muitas vezes esses gastos chegam a ultrapassar 50% dos custos. Outros fatores também podem vir a intervir na aeração, existem muitos tipos de substâncias orgânicas e inorgânicas que podem intervir nos sistemas aeróbios de tratamento de efluentes, e entre essas substâncias está o cloreto. Nos efluentes, os cloretos se apresentam na forma de algum tipo de sal, e o mais comum é o cloreto de sódio. O cloreto de sódio pode ser encontrado em vários tipos de efluentes como, por exemplo, efluentes de indústrias alimentícias, petrolíferas, de processamento de couro e no lixiviado de aterros sanitários. Devido a esta problemática está pesquisa abordou a influência do NaCl na constante de transferência de oxigênio (K_{la}) e posteriormente avaliou a influência dos sais sobre a capacidade de oxigenação (CO). Foram realizados estudos utilizando água destilada acrescentada gradativamente das concentrações de Cloreto de sódio testadas (300g/L, 150g/L, 75g/L, 30g/L e 10g/L), no intuito de melhorar o desempenho do tratamento de águas residuárias e beneficiar a escolha da melhor aeração. Os resultados dos estudos realizados demonstraram que quanto maior a concentração de sal menor será a taxa de transferência de oxigênio, sendo observado que 75g/L chega a reduzir a constante de transferência em até 80%.

Palavras-chave: aeração, influência de sais, transferência de oxigênio, capacidade de oxigenação

1. INTRODUÇÃO

Face às grandes necessidades de tratamento de esgoto (sanitário ou industrial), desenvolvem-se continuamente novas tecnologias. Existem diversas alternativas para o tratamento, podendo ser feitos de forma física, química ou biológica, ou mesmo com a combinação dos três processos. Contudo o tratamento biológico destaca-se, seja ele em ambientes anaeróbios, anóxicos ou aeróbios, por apresentar mais vantagens e entre elas a de oxidar uma considerável gama de compostos presentes nos esgotos, garantindo assim uma qualidade satisfatória do efluente tratado.

Entre os processos envolvidos, o mais amplamente empregado é o biológico, e em destaque o sistema de lodos ativados, com uma configuração básica de um reator aerado (precedido, ou não, de um decantador primário) e um decantador secundário. A idéia principal é que se forme uma população bacteriana no reator aerado, podendo ser bactérias heterotróficas e autotróficas nitrificantes. Essas bactérias precisam que seja fornecido oxigênio em quantidade suficiente para que não ocorram problemas no tratamento devido ao déficit desse elemento, sem contar que ele é essencial para que possam metabolizar o material orgânico presente no efluente.



Quando acontece a escolha pelo o tratamento biológico, muitas das vezes, não tem se a preferência por sistemas aeróbios e sim por outros sistemas de tratamento, na justificativa que sistemas aeróbios têm um elevado custo na implantação e operação devido, principalmente, à aeração, já que a mesma é operação unitária mais importante no tratamento aeróbio.

Segundo NATÁLIA (2004), outros fatores que trazem problemas para a aeração influenciando na taxa de transferência de oxigênio são: temperatura, concentração de oxigênio dissolvido (O.D), características do efluente, características do aerador e da geometria do reator, vazão de ar e tamanho de bolha no difusor. Fatores ambientais e operacionais também podem interferir de forma negativa nesse processo de transferência, afetando assim também na concentração de oxigênio ideal que deveria ser transferida para o crescimento e desenvolvimento de microrganismos aeróbios.

Devido a essas problemáticas existem estudos sobre a transferência de oxigênio, no intuito de descobrir possibilidades de conseguir maior eficiência no tratamento, facilitando a operação dos processos e gerando menores custos.

O trabalho contém estudos realizados em água destilada sob diferentes concentrações de sais (NaCl). Esses estudos tiveram como objetivo determinar a influência da concentração de sais na constante de transferência de oxigênio (K_{la}) e avaliar a capacidade de oxigenação (CO), onde tenta assemelhar a realidade de um sistema de tratamento de água residuária, e dessa forma, garantir experiência pratica que possam ajudar em eventuais necessidades de mudança de aeradores no tratamento.

Na medida em que se reduzem os gastos com aplicação de oxigênio, além de gastos com outras ações que forma otimizadas, sistemas de tratamento aeróbio tornam-se viáveis ao tratamento de esgoto de pequenas comunidades.

2. MATERIAL E MÉTODOS

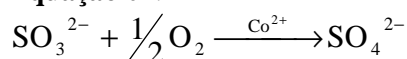
O estudo foi desenvolvido utilizando diversas concentrações de sais, porque as mesmas podem ocorrer em esgoto, principalmente em esgoto industrial, onde as maiores faixas são mais possíveis de se existir.

O experimento foi realizado em béqueres de 2 litros usando água destilada para todos os experimentos. Foi realizado o experimento sob diferentes concentrações de sais com o objetivo de se determinar o K_{la} e a CO. Uma ferramenta utilizada para o estudo foi o eletrodo de OD com medições on line que ajudou no acompanhamento da transferência de dados para a planilha do Excel (respirometro) e o nebulizador de ar que fazia o controle do oxigênio dissolvido. O respirometro utilizado foi o Beluga referenciado em Catunda, (1996).

O experimento avaliou o efeito da concentração de sais dissolvidos no valor de K_{la}. Para o experimento foi utilizado como sal de teste o cloreto de sódio comercial (NaCl) com coeficiente de solubilidade (C_s) aproximadamente de 360g/L. As concentrações de NaCl testadas e adicionadas gradativamente a cada litro de água destilada foram de 300g/L, 150g/L, 75g/L, 30g/L e 10g/L.

Para o experimento foi necessária retirada de oxigênio da água e posterior aeração com nebulizador de ar com pedra difusora na extremidade de saída de ar. Com esse procedimento eram obtidas as curvas de OD em função do tempo (curva de saturação) em que se tornava possível o cálculo de K_{la} e CO como será mostrado adiante. Para se produzir a queda do oxigênio na água, realizou-se desoxigenação química com sulfito de sódio P.A. (Na₂SO₃). E o cloreto de cobalto hexahidratado PA (CoCl₂ - 6 H₂O) como catalisador para acelerar a reação do sulfito com o oxigênio. de acordo com a demanda estequiométrica de 7,8 mg de sulfito de sódio para cada mgO/L conforme

Equação 01:



[Eq.01]

Para determinar a CO precisou-se correlacionar a variação da concentração de OD durante a aeração ao tempo de aeração.

Para se determinar o K_{la} se fez o processo a seguir:

- 1- O aerador foi colocado nas condições normais de operação;
- 2- Colocou-se água destilada em um béquer, calibrou-se o eletrodo, adicionou-se o difusor de ar e o eletrodo na mesma, adicionou-se a concentração de sal desejada, e aplicou-se a aeração até atingir a concentração de saturação sendo a mesma observada em função da temperatura. Aplicou-se o cloreto de cobalto e o sulfito de sódio, aonde o aerador se encontrava desligado até ser observada a eliminação completa do oxigênio pelo o sulfito. Esse procedimento durou em torno de 10 a 15 minutos para cada curva de saturação;
- 3- Quando se passava o intervalo de tempo de reação do sulfito de sódio na água, onde o oxigênio ficava em torno de $0,3\text{mgO}_2/\text{L}$, ligava-se o aerador para se obter a curva de Saturação que era em torno de $7,5$ a $8,0\text{mgO}_2/\text{L}$;
- 4- Após continuada a aeração, e atingir-se a saturação, determinavam-se o valor do oxigênio. A leitura foi feita através do eletrodo de medição on line no respirometro Beluga S32C que determinava oxigênio dissolvido a cada 5 segundos e gerava uma leitura em planilha eletrônica do EXCEL;
- 5- Com os dados obtidos na planilha eletrônica do EXCEL, gerou-se a curva experimental de oxigênio em função do tempo e, com a Equação 0??, geraram-se curvas teóricas também de OD em função do tempo com diferentes valores teóricos de K_{la} , sendo o valor real de K_{la} determinado por aquele que melhor correlacionou curva experimental com curva teórica.

A **Figura 1** contém o gráfico gerado pelo respirometro em um teste para determinação do k_{la} . No gráfico é possível observar o OD de saturação, o déficit do oxigênio ocasionado pela adição do sulfito de sódio e posteriormente a curva de saturação.

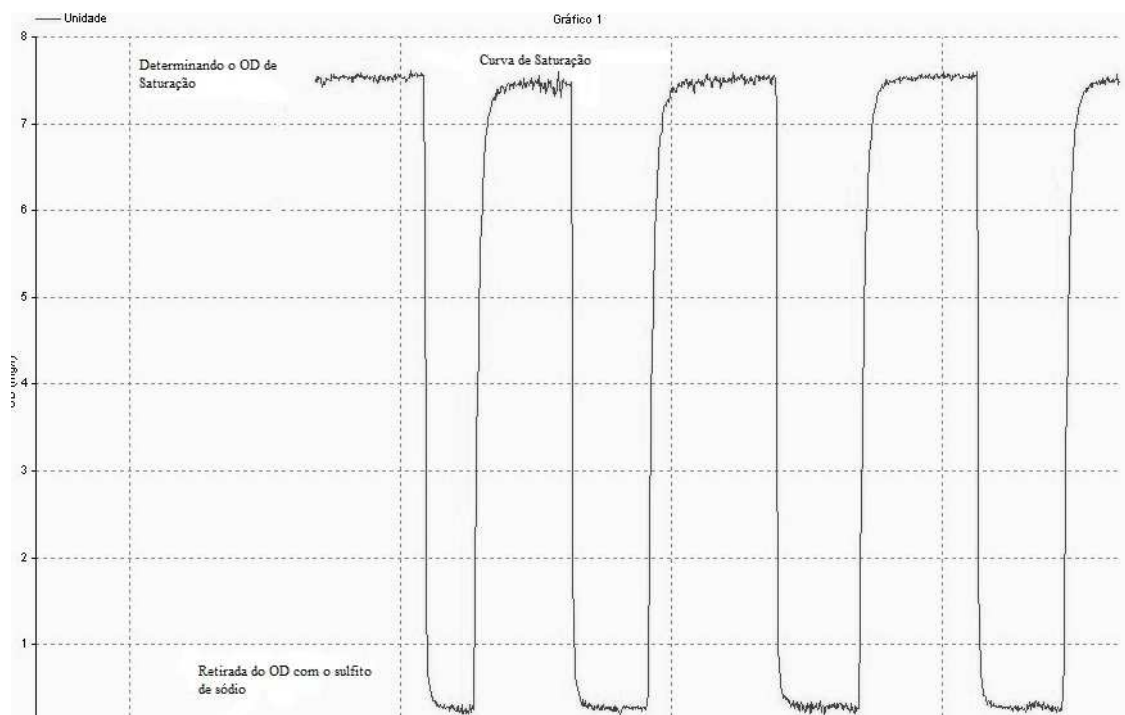


Figura 1 – Representação de um respirograma gerado no respirometro em um teste para determinação do k_{la} .



Devido à variação nas concentrações, os seus resultados devem ser analisados de forma distinta em relação ao valor máximo do Kla atingido em cada curva.

2.1 Determinação de Kla e CO

Pela lei de Fick a capacidade de oxigenação de um aerador é proporcional à diferença que existe entre a concentração de saturação do oxigênio e a concentração de oxigênio dissolvido na fase líquida, que envolve o aerador. A constante de proporcionalidade se chama a constante de transferência. Assim tem-se:

$$CO = Kla * (OD_s - OD_I) \quad [\text{Eq.02}]$$

Onde:

CO = capacidade de oxigenação por unidade de volume ($gO_2L^{-1}h^{-1}$); Kla = constante de transferência de oxigênio (h^{-1});

OD = concentração de oxigênio dissolvido (mg/L).

Os índices "s" e "I" se referem à concentração de saturação e atual de OD na fase líquida respectivamente, sendo que no caso da "fase líquida", significa o licor misto perto do aerador, onde ocorre à transferência do oxigênio, fase gasosa para a fase líquida.

Segundo Van Haandel e Marais (1999), para determinar a capacidade de transferência de oxigênio (CO) precisa-se correlacionar a variação da concentração de oxigênio durante a aeração ao tempo de aeração que esta descrita na Equação 2:

$$OD_I = (OD_s - TCO/Kla) * (1 - \text{Exp}(-Klat)) + ODo * \text{Exp}(-Klat) \quad [\text{Eq.03}]$$

Sendo:

OD_I = Concentração de O_2 no licor misto em um tempo qualquer ($mgO_2.L^{-1}$);

OD_s = Concentração de saturação ($mgO_2.L^{-1}$);

OD_o = concentração no tempo inicial ou no começo da aeração, ($mgO_2.L^{-1}$);

T = Tempo (minuto ou hora);

Kla = Constante de transferência de oxigênio ($(\text{min}^{-1}$ ou $h^{-1})$);

TCO = Taxa de Consumo de Oxigênio exercida pelos microrganismos ($mgO/L/h$).

Já Von Sperling (1997), descreve que quanto menor for a concentração de oxigênio (C), ou quando maior for o déficit de oxigênio ($C_s - C$), maior será a taxa de transferência de oxigênio (dC/dt). Caso não haja consumo de oxigênio no líquido com aeração, a concentração de C aumenta segundo a taxa exponencial decrescente. A concentração tende assintoticamente até o valor estacionário, onde há concentração de saturação C_s na Equação 3:

$$C = C_s - (C_s - C_o) e^{-Kla_xc(t-t_o)} \quad [\text{Eq.04}]$$

Onde:

C : concentração em um tempo t qualquer (g/m^3)

Kla : coeficiente global de transferência de oxigênio (h^{-1})

C_s : concentração de saturação de oxigênio (g/m^3)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Tabelas 1** serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a investigação experimental, para determinar a influência da concentração de sal ($NaCl$) na constante de transferência de oxigênio (kla).

Depois de feito a determinação do kla como foi descrito posteriormente, no final de cada teste com as concentrações gradativamente adicionadas dos sais, foram feito os cálculos através dos valores de oxigênio gerados na planilha do Excel, utilizando a Equação 01 da teoria de Van Haandel e a



Equação 02 da teoria de Von Sperling. A **Tabela 1** apresenta os resultados da média obtidos para cada concentração estudada em ambas as teorias.

Tabela 1 – Taxa de transferência de oxigênio (kla) para as duas teorias

Concentração de Sal	Kla van Haandel (min-1)	Kla Von Sperling (min-1)
10g/L	1,64	1,89
30g/L	0,87	0,96
75g/L	0,79	0,98
150g/L	0,59	0,64
300g/L	0,55	0,60

g/L =gramas por litro (min-1)= minutos

Ao observar os valores de kla expostos na tabela a cima, podemos ver que à medida que aumenta a concentração gradativamente do cloreto de sódio, os valores de Kla tendem a diminuir.

Diante o exposto podemos ver que não há variação muito elevada dos valores obtidos para as duas teorias, mostrando que qualquer teoria pode ser utilizada para cálculos da constante de transferência de oxigênio garantindo resultados confiáveis. Após feito os cálculos de kla para as duas metodologias, foram calculados a capacidade de oxigenação (CO) usando os valores de kla descoberto.

Na Figura 2 está representado em forma de gráfico à capacidade de oxigenação para cada teoria.

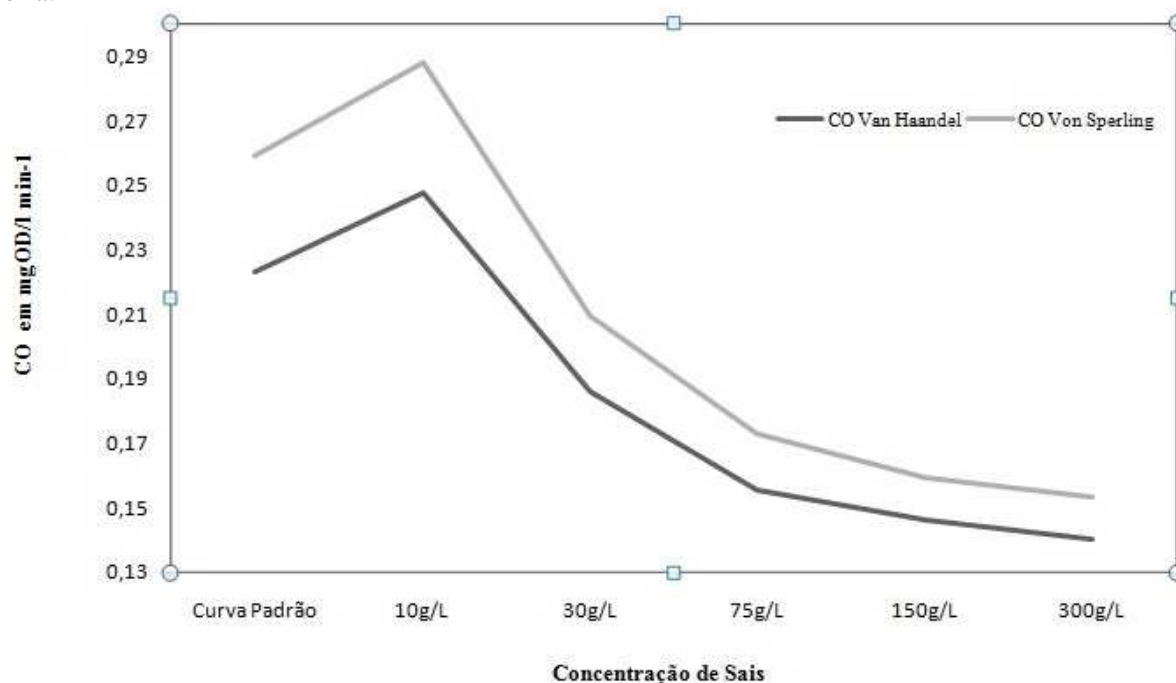


Figura 2: Valores de CO obtidos para cada teoria

Fazendo uma análise da constante transferência de oxigênio (kla) e da capacidade de oxigenação (CO), podemos perceber que a partir de 75g/L a transferência cai gradativamente com a concentração elevada do sal, Miranda 2012 cita que sistemas com 50g/L de cloreto de sódio a capacidade de oxigenação não será afetada tendo em vista que a capacidade de oxigenação e a



constante de transferência são proporcionais. Então sistemas com essas concentrações não serão afetados a capacidade do aerador. Segundo Miranda 2012 valores a partir de 40g/L a cima afetam as bactérias, pois não conseguem assimilar o substrato na presença dessa concentração. No efluente causa possível inibição e/ou perda da atividade metabólica alta concentrações acima de 50g/L, porque ocorre uma diminuição do consumo/transferência. Todavia o kla obtido na pesquisa foi reduzido em cerca de 80% nas concentrações de 10g/L para 300g/L de cloreto de sódio. E de aproximadamente de 50% da concentração de 10g/L para 75g/L, ou seja, concentrações acima de 75g que geralmente são encontradas em efluentes industriais salinos causam problemas bastante consideráveis, pois diminui os valores do kla e da CO.

Tendo em vista o exposto foram calculados os gastos com a energia para saber se realmente existe maior gasto em reais com o aumento da concentração do cloreto de sódio. Foram feito os cálculos para os gastos com a transferência de 1kWh. A COELCE (Companhia Energética do Ceará) cobra uma tarifa de kWh de acordo com o local. Para a pesquisa foi usando o valor cobrado de um residencial monofásico que é de 0,22R\$/1kWh. Sabendo que o aerador utilizado consome 0,0187 kWh foi calculado o gasto de energia para 1 dia, 1 mês e para 1 ano. Na Tabela 2 estão expostos os gastos de energia em função da concentração do Cloreto de sódio adicionado.

Tabela 2 – Resultados dos gastos diário, mensal e anual de energia para cada concentração.

Concentrações Experimentais	Gasto Diário R\$	Gasto Mensal RS	Gasto Anual R\$
10g/L	0,007	0,02	0,28
30g/L	0,004	0,12	1,48
75g/L	0,004	0,13	1,65
150g/L	0,007	0,21	2,57
300g/L	0,008	0,24	2,88

R\$= reais

Como vimos anteriormente podemos perceber que a cada concentração de cloreto de sódio adicionada tanto os valores de kla como a CO tendem a diminuir. A tabela 4 mostra que quanto maior é a concentração adicionada de sais gera um gasto maior em dinheiro, o que seria um fator negativo para tratamento de efluentes salinos com concentrações elevada acima de 75g de cloreto de sódio, concentração essa que já é uma concentração considera pois influência em 50% no kla.

Se levarmos em conta a viabilidade econômica e tendo em vista que o referencial dos resultados obtidos em gastos é para um Becker de volume de 1L, ou seja, estações com maiores dimensões terão valores em gastos muito mais elevados. Fazendo uma estimativa de gasto anual com volumes maiores de 1m³, 5m³ e 15m³ levando em conta a concentração de 75g que já é uma concentração que causa bastante interferência teremos gastos maiores. Na tabela 3 estão expostos os valores gastos em reais por ano.

Tabela 3 – Resultados dos gastos anual com energia para volumes de 1m³, 5m³ e 15m³ para a concentração de 75g/L de sal.

Volume(m ³)	Gasto Anual R\$
1	1654.62
5	8273.10
15	24819,27



m³= metros cúbicos R\$= reais

Como podemos ver exposto na tabela acima temos gastos muito elevados na energia para transferência do oxigênio quando existiu no tratamento concentrações de 75g de sais, e em dimensões maiores. A concentração de 75g/L de sais é uma concentração muito considerável, pois a mesma já influencia em 50% no kla valor este muito abundante.

6. CONCLUSÕES

De acordo com o experimento realizado, conforme os procedimentos anteriormente ditos foram possíveis concluir que:

- O cloreto de sódio influencia na constante de transferência de oxigênio notavelmente onde a partir de 75g/L chega a diminuir a transferência em 50% e de 80% na concentração de 300g/L.
- A capacidade de oxigenação foi proporcional a constante de transferência, onde quanto maior a concentração menor a capacidade de adicionar oxigênio.
- Sistemas com elevadas concentrações de sais é de difícil tratamento biológico aeróbio devido à difícil transferência do oxigênio para o licor misto.
- Os valores de kla tendem a diminuir gradativamente a cada acréscimo da concentração do sal.
- Ambas as metodologias estudadas: Van Haandel e Von Sperling podem ser utilizadas, pois obtém dados muitos parecidos e precisos para determinar o kla e CO mostrando resultados satisfatórios.
- O ideal é que sistemas de tratamento tenham no mínimo concentrações com menos ou próximo a 50g/L, pois concentrações acima afetam as bactérias, pois as mesmas não conseguem assimilar substratos no meio e essas concentrações podem causar inibição ou perda da atividade metabólica das bactérias.
- O gasto de energia fica maior com o aumento das concentrações.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Laboratório de Controle Ambiental (LCA), a FUNCAP pela concessão da bolsa e ao IFCE- Campus Limoeiro do Norte.

REFERÊNCIAS

- CORRÊA, L.C.(2006) **Controle do processo de transferência de oxigênio em corpos hídricos**. Dissertação. (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Paulo, São Carlos, 2006 95p.
- MIRANDA, A. C. **Influência da concentração de lodo sobre a capacidade de oxigenação do aerador e a influência da concentração do sal sobre a capacidade metabólica do lodo**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.
- NATÁLIA, M. **Determinação do coeficiente global de transferência de oxigênio kla para água limpa em aerador por difusão de bolha grossa e fina**. 2004. Artigo. (XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia) – Curitiba, Paraná, 2004.
- SANTOS, J. A. C. **Estudo da influência do cloreto de sódio na remoção de matéria orgânica, na determinação da DQO e na microbiota em um sistema de tratamento aeróbio por lodos ativados**. 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- VAN HAANDEL, A. C. & MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações**. Campina Grande – PB: Epgraf.; 1999.



VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. Belo horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.