



II-179 – USO DE LEITOS CULTIVADOS COM MACRÓFITAS NO PÓS TRATAMENTO DE VINHAÇA PROVENIENTE DE REATOR ANAERÓBIO

Ramyro Batista Araújo⁽¹⁾

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE e Estudante de Agronomia na Universidade Federal do Ceará - UFC

José Wilmar da Silveira Neto⁽²⁾

Engenheiro Agrônomo – UFC; Mestre em Tecnologias Tropicais FHS KOELN (Universidade de Ciências Aplicadas de Colônia); Doutor em Engenharia Civil – UFC; Área de concentração em Recursos Hídricos; Pós Doutorado em Tecnologia dos Trópicos - FHS KOELN e integrante da GAWN, German Alumni Water Network.

Eduardo Bosco Mattos Cattony⁽³⁾

Biólogo pela UFSCar; mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pela USP; doutor em construção Civil pela USP; atual professor do Departamento de Construção Civil do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará – IFCE, campus Fortaleza.

Endereço⁽¹⁾: Rua Henrique Rabelo, 1396 – Joaquim Távora - Fortaleza - CE - CEP: 60110-540 - Brasil - Tel: (85) 32261802 - e-mail: ramyrobotista@gmail.com

Endereço⁽²⁾: Rua Engenheiro Plácido Coelho JR. 154. CEP: 60.175-635 Fortaleza-CE; Tels. (85) 99538948 – (85)32341747 e-mail: jwilmarsn@gmail.com

Endereço⁽³⁾: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Departamento da Construção Civil, LABIOSAN (Laboratório de Biorremediação e Saneamento). Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica - Fortaleza - CE - CEP: 60040-531. Fone: 55 (85) 3307 3754. ebmcattony@gmail.com

RESUMO

O termo Leito Cultivado ou "*Constructed Wetland*" refere-se à tecnologia de tratamento de águas residuárias baseada nos processos físicos, químicos e biológicos encontrados nos ecossistemas das várzeas naturais. Estes sistemas têm como os principais componentes o meio suporte (que pode ser solo, areia, brita ou outro material), espécies vegetais, mais conhecidas como macrófitas e microrganismos associados às raízes dessas plantas que são os principais responsáveis pela remoção dos contaminantes da água residuária. A disposição indevida da vinhaça no solo e por consequência, nas águas subterrâneas apresenta grande impacto ambiental, devido principalmente a alta demanda de oxigênio necessário para decompor a matéria orgânica existente neste efluente. Em busca de alternativas que minimizem os impactos causados pelo lançamento de vinhaça no solo, a presente pesquisa experimental tem como objetivo à avaliação de duas unidades de Leitos Cultivados (LC) com macrófitas, uma de fluxo superficial horizontal (LCFSH) e outra de fluxo superficial vertical (LCFSV) em escala de bancada, que atuaram como pós-tratamento da vinhaça proveniente de reator anaeróbico horizontal de leito fixo (RAHLF). A macrófita utilizada no experimento foi o junco (*Eleocharis sp.*) que obteve uma boa adaptabilidade ao efluente utilizado, desenvolvendo-se vegetativamente e reprodutivamente, contribuindo assim para a eficiência no tratamento. Através das análises físico-químicas pode-se perceber uma eficiência de remoção de matéria orgânica próxima a 50% para o LCFSH e de 70% para o LCFSV e redução nos valores da condutividade elétrica de 1115 uS/cm, na entrada dos sistemas, para 132uS/cm na saída. Portanto, ambos sistemas, operados nas condições usadas nesta pesquisa, podem ser usados como opção para o pós tratamento da vinhaça, porém, o sistema de LCFSV se mostrou mais eficiente do que o sistema LCFSH, seja pela maior eficiência de remoção de matéria orgânica, seja pela diminuição da condutividade.

PALAVRAS-CHAVE: macrófitas, plantas aquáticas, leitos cultivados, wetlands, vinhaça.

INTRODUÇÃO

A água é hoje um dos recursos naturais mais ameaçados devido a intensas e crescentes agressões ao ambiente. A poluição direta ou indireta dos recursos hídricos é resultado do uso incorreto que o homem faz da água e das atividades que desenvolve nas margens dos rios e nas bacias hidrográficas como um todo (MOTA, 1997). Essas atividades estão quase sempre relacionadas com o lançamento de efluentes.



Dentre os sistemas naturais de tratamento de efluentes, uma das tecnologias mais promissoras são os sistemas de *wetlands* construídos (leitos cultivados) devido às suas características de simplicidade de construção, operação, manutenção, estabilidade dos processos envolvidos e, custo efetivo, dentre outros (HABERL, 1995).

Wetland é um termo genérico utilizado para definir um universo de habitats úmidos, que são conhecidos sob diversas denominações, como banhados, pântanos, brejos, zonas alagadiças, leitos, charcos, manguezais e áreas similares, estando sujeitos a inundações periódicas ou permanentes, que mantêm o solo suficientemente saturado para o estabelecimento de plantas macrófitas e o desenvolvimento de solos hidromórficos. Estes sistemas apresentam características e propriedades comuns e dependem da geologia, geomorfologia, solo e das condições climáticas (ANJOS, 2003).

Segundo ALENCAR (2004), as *wetlands* são encontradas na literatura com várias denominações: *constructed wetlands*, *treatment wetlands*; *vegetated submerged beds*, *reed bed treatment systems*, *fito-etar's*, *fito-lagunagem*. No Brasil, recebe algumas denominações como Terras Úmidas (TUs), Terras Úmidas Construídas (TUCs), terras úmidas artificiais; zonas úmidas artificiais, estação de tratamento por meio de zona de raízes, módulos com vegetais, leitos hidropônicos de areia, filtro de plantas, *wetlands* construídas e leitos cultivados com macrófitas, denominação escolhida para ser utilizada nesse trabalho.

O termo Leito Cultivado ou "*Constructed Wetland*" refere-se à tecnologia de tratamento de águas residuárias baseada nos processos físicos, químicos e biológicos encontrados nos ecossistemas das várzeas naturais. Elas são consideradas hoje um método de tratamento de tecnologia simples, de fácil operação e de baixo custo, que minimizam os riscos das águas residuárias e, também, reduzem a contaminação microbiana. Dentre as principais características relacionadas estão à adequada ciclagem de nutrientes, a remoção da matéria orgânica e a possível redução de microrganismos patogênicos presentes nas águas residuárias (PHILIPPI, 2004). Estes sistemas têm como os principais componentes o meio suporte (que pode ser solo, areia, brita ou outro material), espécies vegetais, mais conhecidas como macrófitas e microrganismos associados às raízes dessas plantas que são os principais responsáveis pela remoção dos contaminantes da água residuária.

Inserido nesse contexto, e na busca de alternativas que minimizem os impactos causados pelo lançamento de vinhaça no solo, a presente pesquisa experimental teve como objetivo a avaliação de duas unidades de Leitos Cultivados (LC) com macrófitas, uma de fluxo superficial horizontal (LCFSH) e outra de fluxo superficial vertical (LCFSV), em escala de bancada, que atuaram como pós-tratamento da vinhaça proveniente de reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF). A vinhaça é um sub-produto da indústria sucro-alcooleira que apresenta pH ácido, alto teor de sais (24000 a 80000 mg/l), grande teor em matéria orgânica (4000 a 64000 mg/l), presença de ácido sulfúrico livre, concentrações elevadas de potássio, cálcio, magnésio, sulfato e nitrogênio (PEREIRA *et al*, 2004). Portanto, a vinhaça, se não tratada adequadamente, pode causar grandes impactos ambientais, principalmente aos recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Escolha das macrófitas

Devido não haver um critério geral para a escolha da macrófita apropriada para um tratamento específico, é aconselhável observar as espécies presentes nas proximidades da região de onde será instalada a estação de tratamento e montar um sistema em escala de bancada com algumas das variedades de plantas que se pretende trabalhar, observando a adaptabilidade delas ao efluente utilizado. Desta forma, com o monitoramento do desempenho de cada sistema experimental, pode-se determinar o que melhor realizou o tratamento do efluente bem como apresentou maior crescimento vegetativo e reprodutivo.

O trabalho experimental teve início com os testes das macrófitas aguapé (*Eichhornia crassipes*), o alface d'água (*Pistia stratiotes*), a taboa (*Typha sp.*) e o junco (*Eleocharis sp.*), para descobrir qual delas melhor se adaptam às condições da vinhaça.

As macrófitas foram retiradas da lagoa do Papicu (figura 01), também conhecida por lagoa da Brahma (devido à antiga fábrica de cerveja instalada nas proximidades), ela fica localizada no bairro Papicu na cidade de Fortaleza - CE. Essa lagoa foi escolhida para a retirada das macrófitas pelo o fato de ter em abundância as espécies do estudo.



Figura 01: Lagoa do Papicu, Fortaleza - CE.

Com base nas sugestões de SILVEIRA NETO (2003), após a retirada das macrófitas da lagoa, deu-se início a montagem de bacias com as espécies flutuantes (figura 02), aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface d'água (*Pistia stratiotes*) e montagem dos canteiros para as espécies emergentes (figura 03), taboa (*Typha sp.*) e junco (*Eleocharis sp.*).

Após um mês da implantação dos canteiros, pode-se observar um desenvolvimento vegetativo considerável em todas as espécies, fato esse que foi o indicador da adaptabilidade das espécies ao novo ambiente, dando-se início a irrigação das macrófitas com a vinhaça, efluente do Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF). Nos primeiros dias de uso da vinhaça foi notável a redução do crescimento das espécies flutuantes, o aparecimento de mosquitos na bacia da macrófita alface d'água e a queima das folhas do aguapé (figura 04).



Figura 02 - Macrófitas em bacias, à esquerda o alface d'água e à direita o aguapé.



Figura 03 - Macrófitas em canteiros, à esquerda junco e em seguida dois canteiros com taboa.



Figura 04 – Comparação do desenvolvimento das macrófitas flutuantes aguapé (*Eichhornia crassipes*), antes (esquerda) e depois (direita) da aplicação da vinhaça.

Pelos fatores queima das folhas e aparecimento de mosquitos, optou-se por fazer o descarte das espécies flutuantes por não terem se adaptado às condições impostas pelo experimento.

Com relação às macrófitas emersas, todas apresentaram boa adaptabilidade à presença de vinhaça, resultando em um significativo desenvolvimento vegetativo. Pelo fato de estarem plantadas sobre uma camada de solo, que possibilitou uma rápida drenagem do efluente para as camadas das raízes, não foi notada a presença de mosquitos.

Finalmente, o fator decisivo para escolha da espécie junco (*Eleocharis sp.*) foi o fato desta apresentar uma maior velocidade de perfilhamento (desenvolvimento reprodutivo), do que a espécie taboa (*Typha sp.*).

Ensaio com os sistemas de leitos cultivados

Para a construção dos sistemas, em escala de bancada, foram utilizados dois recipientes para cada sistema; um de 5,0 L usado para o armazenamento da vinhaça e outro de 20,0 L usado como leito para o crescimento das macrófitas. Além dos recipientes também foram usados para a confecção dos sistemas brita zero, solo oriundo da lagoa e macrófitas.



No sistema de Leitos Cultivados de Fluxo Superficial Horizontal (LCFSH) (figura 05) a vinhaça a ser tratada foi gotejada, do recipiente de armazenamento, na porção inicial do leito denominada zona de entrada, composta por brita, de onde percolou vagorosamente através do material filtrante até atingir a porção final, também composta por brita e chamada de zona de saída. Esta percolação seguiu um fluxo horizontal que foi impulsionado pela declividade de fundo.

No sistema de Leitos Cultivados de Fluxo Superficial Vertical (LCFSV) (figura 06), a vinhaça passou inicialmente pelo recipiente de armazenamento, ligado a uma única tubulação de 3/4" perfurada, que conduziu o efluente a toda a superfície do leito e conseqüentemente a zona de raízes das macrófitas. Após gotejar na superfície do leito, a vinhaça infiltrou-se no substrato das plantas, passando pelas raízes, sendo absorvida e tratada por microrganismos que ali se desenvolveram e ao fim foi filtrada por uma camada de brita zero disposta na porção inferior do leito antes de ser recolhida pela torneira de coleta. Ainda, na porção inferior do leito do sistema, entre a camada de brita, foi instalado um tubo perfurado para facilitar a drenagem da vinhaça percolada.



Figura 05 - Descrição ilustrada da montagem de um sistema piloto de LCFSH. 1. Recipiente de armazenamento da vinhaça, 2. Torneira de alimentação do sistema. 3. Leito para crescimento das macrófitas, 4. Torneira de Coleta.



Figura 06 - Descrição ilustrada de um sistema piloto de LCFSV. 1. Recipiente de armazenamento da vinhaça, 2. Tubo de distribuição, 3. Leito para o crescimento das macrófitas, 4. Tubo de drenagem; 5. Torneira de Coleta.

O monitoramento e acompanhamento do desenvolvimento foliar da macrófita e a capacidade de absorção de substâncias presentes no efluente foram feitos diariamente, por meio de registro fotográfico. Já as amostras da vinhaça efluente foram retiradas semanalmente e levadas ao laboratório para análises.

Análises físico-químicas

As análises físico-químicas, realizadas neste trabalho, seguiram os protocolos descritos no *STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER* (1995): demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos voláteis (SSV), nitrato, nitrito, pH, ácidos, alcalinidade, fósforo e sulfato, foram realizadas.

As análises volumétricas de ácidos e alcalinidade seguiram os protocolos propostos por DILALLO & ALBERTSON (1961) e RIPLEY *et al.*



RESULTADOS

A vinhaça tratada no reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) apresentou valores de DQO residual altos, em torno de 300mg.l^{-1} , de modo a permitir um experimento de pós-tratamento.

Os resultados obtidos com o leito cultivado de fluxo superficial horizontal (LCFSH) estão resumidos na tabela 01.

Tabela 01 – Conjunto de análises e resultados obtidos com a operação do LCFSH.

Análises	Afluente	Efluente
DQO (mg/l)	330	185
Ácidos Voláteis (mg $\text{CH}_3\text{COOH/l}$)	45	160
Alcalinidade (mg CaCO_3/l)	138	260
pH	8,4	8,3
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/l)	13	30
Fósforo Total (mg/l)	9,2	0,12
Sulfato (mg/l)	2	24
Nitrato (mg/l)	1,12	0,15
Nitrito (mg/l)	0,03	0,04
Turbidez (un.turb.)	19	63
Cor (un. cor)	210	198
Condutividade (uS/m)	111,5	110

O pH, condutividade, cor, SSV, nitrato e nitrito não apresentaram mudanças relevantes. O conteúdo de fósforo foi reduzido quase que totalmente. É muito provável que o fósforo tenha sido assimilado pelas macrófitas visto que ele é um elemento nutriente as mesmas.

O sulfato apresentou elevação no efluente final o que poderia ser explicado pela lavagem da lama usada no sistema de tratamento.

Os valores da condutividade elétrica, entre a água residuária afluente e efluente ao sistema, não apresentaram mudanças significativas.

O LCFSH foi operado com concentração de DQO afluente de, aproximadamente, 300mg.l^{-1} , reduzida para cerca de 150mg.l^{-1} (eficiência de remoção próxima de 50%) no efluente (figura 07 e tabela 01).

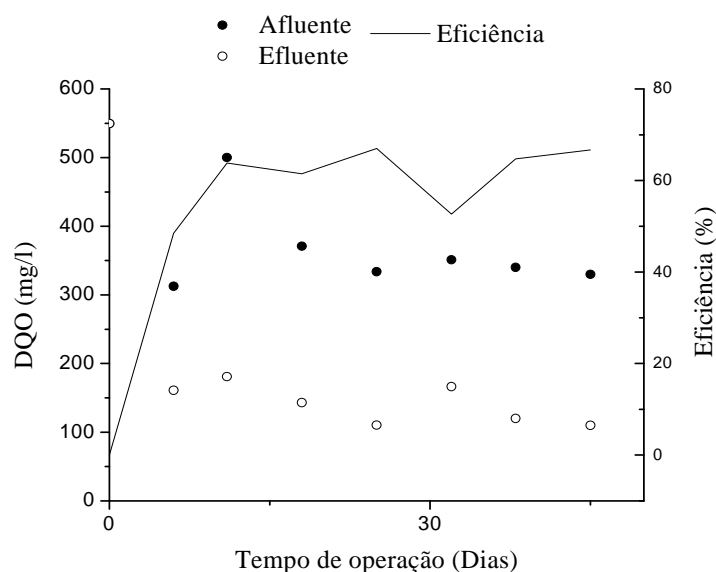


Figura 07 - Variação temporal da matéria orgânica (expressa em DQO) no sistema de LCFSH.



Os resultados obtidos com o leito cultivado com fluxo superficial vertical (LCFSV) estão resumidos na tabela 02.

Tabela 02– Conjunto de análises e resultados obtidos com a operação do LCFSV.

Análises	Afluente	Efluente
DQO (mg/l)	330	110
Ácidos Voláteis (mg CH ₃ COOH/l)	45	130
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	138	291
pH	8,4	7,2
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/l)	13	23
Fósforo Total (mg/l)	9,2	0,12
Sulfato (mg/l)	2	5
Nitrato (mg/l)	1,12	0,18
Nitrito (mg/l)	0,03	0,04
Turbidez (un.turb.)	19	101
Cor (um. cor)	210	165
Condutividade (uS/m)	111,5	13,2

Assim como no ensaio com LCFSH, no ensaio com LCFSV, a cor, SSV, sulfato, nitrato e nitrito não apresentaram mudanças relevantes. O conteúdo de fósforo também foi reduzido quase que totalmente.

O pH diminuiu indicando uma leve acidificação. A eficiência na remoção da matéria orgânica foi maior no sistema vertical, provavelmente, por consequência de maior área para desenvolvimento de biomassa microbiana junto às raízes do junco o que leva a uma maior taxa metabólica, e que finalmente leva a uma maior produção de ácidos orgânicos causando a diminuição nos valores de pH.

Porém, o dado mais interessante deste ensaio é quanto a condutividade elétrica que teve seu valor diminuído de 1115 uS/cm, na entrada do sistema, para 132uS/cm na saída. Está diminuição nos valores da condutividade está relacionada com a retirada de íons da água residuária, ou seja, com a diminuição da salinidade.

O LCFSV foi operada com concentração de DQO afluente de, aproximadamente, 300 mg.l⁻¹, reduzida para cerca de 100 mg.l⁻¹ (eficiência de remoção próxima de 70%) no efluente (figura 08 e quadro 02).

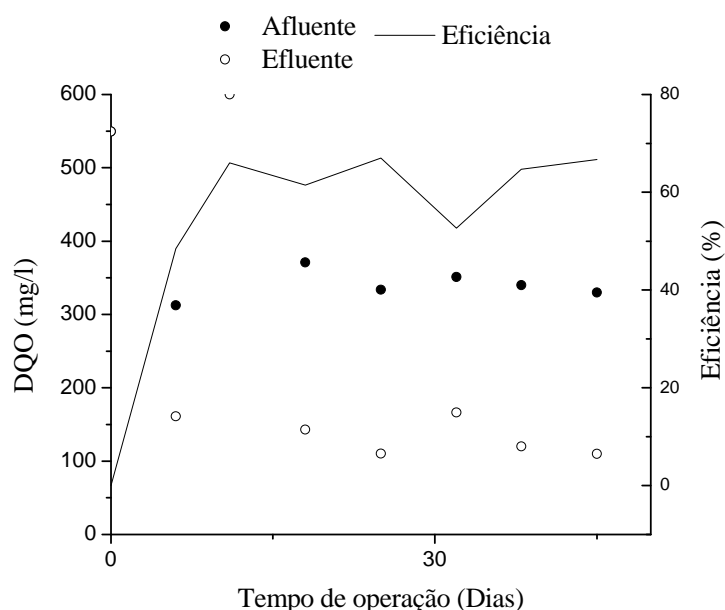


Figura 08 - Variação temporal da matéria orgânica (expressa em DQO) no LCFSV.



CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A montagem dos sistemas em escala de bancada foi extremamente simples, consistindo apenas de recipientes de plásticos, brita zero, solo originário da lagoa e uma tubulação de drenagem e coleta. Em escala real, estes sistemas de leitos cultivados também não devem demandar muitos recursos de construção, implantação e operação. Portanto, sistemas baseados em LC se caracterizam pela simplicidade, não necessitando de equipamentos eletromecânicos e nem treinamento e capacitação de um operador.

Na etapa de escolha das macrófitas, as macrófitas flutuantes aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface d'água (*Pistia stratiotes*), morreram em contato com a vinhaça. A taboa (*Typha sp.*) foi resistente ao efluente, porém o junco (*Eleocharis sp.*) desenvolveu-se melhor, crescendo e reproduzindo-se por rizomas. O melhor desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do junco em comparação a taboa foram os fatores que levaram a sua escolha para a montagem do sistema piloto.

Quanto a água residuária tratada, ambos sistemas apresentaram valores satisfatórios de remoção de matéria orgânica. Porém, no sistema de leito cultivado de fluxo superficial vertical (LCFSV) essa eficiência de remoção foi notadamente melhor, 70% contra 50%.

Para o tratamento do potencial de salinização, medidos através das análises de condutividade elétrica (CE), somente o sistema LCFSV se mostrou eficiente. No LCFSV a CE, da água residuária efluente, obteve o valor de 110 dSm^{-1} , já no LCFSH, o valor de 13 dSm^{-1} . Essa diferença de valores de CE entre LCFSV e LCFSH está provavelmente relacionada ao maior desenvolvimento radicular no sistema LCFSV que tem como consequência maior potencial de absorção de sais, pelas plantas, que pode resultar na diminuição do potencial de salinização do solo.

Finalmente, as análises mostraram que o LCFSH e LCFSV utilizando junco e operados nas condições descritas neste trabalho, podem ser usados como opção para o pós tratamento da vinhaça, porém, o sistema de LCFSV se mostrou mais eficiente do que o LCFSH, seja pela maior eficiência de remoção de matéria orgânica, seja pela diminuição da condutividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALENCAR, Alan Sydrião Arrais De. Tratamento de efluentes de tanque séptico utilizando terras úmidas construídas: uma alternativa de baixo custo. Dissertação, 2004 (Mestrado em Saneamento Ambiental, UFC, Ceará).
2. ANJOS, José Ângelo Sebastião Araujo dos Anjos, Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. São Paulo, 2003.328p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.
3. DILALLO, R. & ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct trititation. Journal of Water Pollution C. Fed., 33: 356-365, (1961).
4. PEREIRA, Sueli Yoshinaga. Os estudos dos impactos da vinhaça no solo e na água subterrânea, ênfase na EDR Ribeirão Preto, uma análise da situação atual do conhecimento e perspectivas. Congresso brasileiro de ciência e tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável, Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina, 2004.
5. PHILIPPI, L. S & SEZERINO, P. H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias, 3: 37-38, Florianópolis (2004).
6. SILVEIRA NETO, José Wilmar, “Aproveitamento de efluentes de estações de tratamento de esgotos de indústrias têxteis”, Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2003.
7. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER. 19th edition. American Public Health Association/ American Water Association/ Water Environment Federation, Washington, DC, USA, (1998).
8. RIPLEY, L. E.; Boyle, W. C.; Converse, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. Journal of Water Pollution C. Fed. 58 (5): 406-465, (1986).