



Vol. 2, No. 1, 19-30, 2009
ISSN 0718-378X

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DA ETE ARRUDAS - MG (LODO ATIVADO CONVENCIONAL)

Alessandra Valadares Álvares da Silva ¹
Marcos von Sperling ²
José Maria de Oliveira Filho ³

*Evaluation of the anaerobic digestion process of arrudas
wastewater treatment plant (conventional activated
sludge)*

ABSTRACT

This research aims at assessing the characteristics and behavior of the anaerobic digestion units, which treat sludge at the Arrudas Wastewater Treatment Plant (2.25 m³/s design flow). The plant is located in Belo Horizonte, Brazil, and operates as conventional activated sludge, with anaerobic digestion of the sludge and further mechanical dewatering by centrifuges. The plant went through three different operational phases in relation to the thickening, thus affecting the following stage of anaerobic digestion: Phase 1: digestion of thickened primary sludge; Phase 2: digestion of thickened mixed sludge; Phase 3: digestion of thickened secondary sludge and of primary sludge. During the first and second phases, values of removal efficiency of volatile solids of 37% and 36% respectively occurred. In the third phase, the average efficiency of removal of VS was higher (43%). The VS/TS ratio was maintained, in the three phases, around 0.60. The pH values were always within those reported by the literature. The longest hydraulic detention time occurred in the second phase (47 days), while in the first phase it was 35 days, and in the third phase 22 days – a value near that assumed in the design.

Keywords: Sewage, sludge treatment, anaerobic digestion.

¹Arquiteta urbanista (FAMIH-MG). Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). ALE Arquitetura e Engenharia Ltda

²Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College, Universidade de Londres. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

³Engenheiro civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG). Especialista em Gestão Estratégica de Empresas de Saneamento (NEWTON PAIVA). Gerente da Divisão de Tratamento de Efluentes - COPASA

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DA ETE ARRUDAS – MG (LODO ATIVADO CONVENCIONAL)

Alessandra Valadares Álvares da Silva¹

Marcos von Sperling²

José Maria de Oliveira Filho³

¹ Arquiteta urbanista (FAMIH-MG). Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). ALE Arquitetura e Engenharia Ltda

² Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College, Universidade de Londres. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

³ Engenheiro civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG). Especialista em Gestão Estratégica de Empresas de Saneamento (NEWTON PAIVA).

Gerente da Divisão de Tratamento de Efluentes - COPASA

Contact Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG.

Av. Contorno 842 - 7º andar; 30110-060 - Belo Horizonte - MG

Tel: (31) 3409-1935; Fax: (31) 3409-1879; e-mail: marcos@desa.ufmg.br

Resumo

Nessa pesquisa foram avaliadas as características e o comportamento da unidade de digestão anaeróbia que trata o lodo da Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas (vazão de projeto de 2,25 m³/s). A ETE está localizada em Belo Horizonte e tem como processo de tratamento, lodos ativados em sua modalidade convencional, com digestão anaeróbia do lodo e posterior desidratação mecânica em centrífugas. A Estação passou por três fases operacionais distintas no que se refere ao adensamento e dessa maneira ocorreram alterações na etapa seguinte, a digestão anaeróbia: Fase 1: digestão de lodo primário adensado; Fase 2: digestão de lodo misto adensado; Fase 3: digestão de lodo secundário adensado e de primário. Dos resultados do trabalho pode-se concluir que durante a primeira e segunda fase foram apresentados valores de 37% e 36%, respectivamente para a eficiência de remoção de sólidos voláteis. Na terceira fase a média de eficiência dos digestores anaeróbios quanto à remoção de STV foi superior (43%). A relação SV/ST manteve-se, nas três fases, em torno de 0,60. Os valores de pH estiveram sempre dentro dos valores reportados pela literatura. O maior tempo de detenção hidráulica ocorreu na segunda fase (47 dias), na primeira fase foi de 35 dias e na terceira fase foi de 22 dias- valor próximo ao adotado no projeto.

Palavras-Chave: Esgoto, tratamento do lodo, digestão anaeróbia.

Introdução

No Brasil, as estações de tratamento de esgotos por lodos ativados têm sido dimensionadas com base em normas técnicas ou livros clássicos, e há poucas avaliações do real desempenho e dos parâmetros de projeto empregados, principalmente no que diz respeito à etapa de tratamento do lodo. Na pesquisa foram utilizados dados coletados por mais de três anos de monitoramento, segundo distintas condições de operação da etapa de tratamento do lodo. A capacidade de fim de plano da ETE Arrudas atende a uma vazão de 4,50 m³/s. O seu tratamento primário foi construído para atender a esta vazão média, ao passo que o tratamento secundário foi implantado para uma vazão inicial de 2,25 m³/s (1.000.000 habitantes). A Estação de tratamento de esgotos do Arrudas trata os esgotos gerados na Bacia do Arrudas, em Belo Horizonte e Contagem – MG, sendo a maior do estado.

Objetivo do trabalho

O objetivo do presente trabalho é avaliar o comportamento do lodo ao longo das etapas que compõem a fase sólida da ETE Arrudas, estação de lodos ativados de grande porte, e comparar as principais variáveis operacionais com valores usualmente recomendados para projeto ou operação.

O estudo busca também apresentar e discutir em maior detalhe os resultados obtidos na estabilização (digestão anaeróbia) do lodo da ETE Arrudas, segundo distintas estratégias operacionais advindas de mudanças no adensamento do lodo.

A avaliação global da fase sólida e o comportamento específico dos adensadores foram apresentados em Silva (2006) e Silva et al (2007), respectivamente.

Metodologia utilizada

O presente estudo utilizou os dados de monitoramento efetuado pela COPASA ao longo das distintas fases de operação. O período que abrange os dados históricos do monitoramento utilizados neste estudo consta de três anos de atividade (agosto de 2002 a dezembro de 2005).

Desde sua entrada em operação em outubro de 2001 até os dias atuais, a Estação passou por três diferentes fases operacionais no que se refere ao adensamento dos lodos. As fases estudadas são apresentadas na TAB. 1. Essas diversas estratégias de operação tiveram uma profunda consequência em todo o comportamento das unidades de tratamento da fase sólida. Os valores médios da vazão de esgotos afluente à ETE foram: Fase 1: 1,10 m³/s; Fase 2: 1,21 m³/s; Fase 3: 1,33 m³/s.

Tabela 1. Fases operacionais no tratamento do lodo da ETE Arrudas

Fase	Nível do tratamento	Período	Adensamento	Digestão	Descrição
1	Somente tratamento primário	out/2001 a dez/2002	- LP no adensador	- LP adensado	<ul style="list-style-type: none"> Lodo primário concentrado no adensador por gravidade e bombeado para o digestor.
2	Tratamento secundário	jan/2003 a ago/2004	- LM no adensador	- LM adensado	<ul style="list-style-type: none"> Lodo primário e lodo secundário concentrados, conjuntamente, no adensador por gravidade e bombeados para o digestor.
3	Tratamento secundário	ago/2004 a jun/2005	- LP adensado no dec prim - LS no adensador	- LP do dec prim - LS adensado	<ul style="list-style-type: none"> Lodo primário adensado no próprio decantador primário e bombeado, diretamente, para os digestores. Lodo secundário concentrado no adensador por gravidade e bombeado para o digestor.

LP = lodo primário; LS = lodo secundário; LM = lodo misto

As unidades e dados técnicos dos digestores da ETE Arrudas são apresentadas na TAB.2.

Tabela 2. Dados dos digestores da ETE Arrudas (vazão média de projeto: 2,25 m³/s)

Dados Técnicos	Unidades	
	Digestores Primários	Digestores Secundários
Número de unidades	03	01
Formato	circular	circular
Diâmetro	27m	27m
Área total	1.717 m ²	572m ²
Volume total	24.900 m ³	6.295 m ³

Parâmetros usuais de projeto e operação no tratamento do lodo no processo da digestão anaeróbia

O tratamento do lodo é parte integrante do processo de lodos ativados, e o fluxograma da estação somente pode ser completo se incluir as etapas relacionadas com o tratamento e disposição final dos subprodutos gerados no tratamento (von Sperling, 1997). São subprodutos

sólidos o material gradeado, areia, espuma e lodo. No processo de lodos ativados gera-se lodo primário, secundário e a combinação de ambos, compondo o lodo misto. Esse lodo é então estabilizado posteriormente.

A digestão anaeróbia dos lodos é um processo biológico que permite a degradação da matéria orgânica, por um processo de fermentação através de bactérias produtoras de metano num ambiente fechado e ausência de ar. É um processo lento que necessita para o seu desenvolvimento de determinadas condições de temperatura, concentração de sólidos, e de certos equilíbrios físico-químicos (relação acidez/alcalinidade e pH).

Na prática, a digestão é acelerada por processo de homogeneização do lodo digerido com o lodo cru, que permite a simultaneidade das fases características da digestão anaeróbia (JORDÃO; PESSOA, 2005). Como consequência da digestão anaeróbia, um produto anteriormente ofensivo e de aspecto desagradável se transforma em dois produtos que podem se reintegrar à natureza, inclusive com aspectos econômicos: o lodo digerido e o gás metano (SILVA, 2002).

Resumidamente, pode-se dizer que as melhores condições ambientais que favorecem a atividade do digestor anaeróbio são as descritas na TAB.3.

Tabela 3. Melhores condições para a digestão anaeróbia

Principais parâmetros	Valor recomendado
pH	compreendido entre 6,8 e 7,2
Acidez volátil	50 a 300 mg/L
Alcalinidade total	1.000 a 3.000 mg/L
Relação Acidez/Alcalinidade	0,05 a 0,1
STF	40 a 60 %
% metano	Acima de 65%

Fonte: Adaptado de SILVA,1982, p. 3; LUDUVICE, 2001, p. 135.

Segundo a WEF (1992), o desempenho de um digestor está relacionado com o período de digestão, sua correlação com a temperatura, bem como a especificação da carga orgânica volumétrica. A TAB. 4 mostra os principais parâmetros de projeto para um digestor primário.

Tabela 4. Principais parâmetros de projeto para um digestor primário

Parâmetros	Quantidade
Tempo de digestão	20 a 25 dias
Temperatura média	25 a 30 °C
Carga orgânica volumétrica	≤1,9 kgSTV/m ³ .d

Fonte: Adaptado da WEF, 1992, p. 1275, 1276.

Resultados e discussão

Os resultados são apresentados em função das diferentes fases estudadas. A interpretação dos resultados é feita separadamente. As estatísticas descritivas completas estão apresentadas em Silva (2006).

Concentrações de sólidos e relações entre variáveis

A TAB. 5 mostra os valores médios das concentrações de sólidos nas três fases de investigação do tratamento do lodo da ETE Arrudas, enquanto a TAB. 6 resume as médias das variáveis operacionais do adensador por gravidade, digestor anaeróbio e desidratação por centrifuga.

Tabela 5. Concentrações médias de sólidos totais ao longo da fase sólida da ETE Arrudas

Local	Parâmetro	Concentração de sólidos totais (%)		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3
Lodo primário	ST	3,72	2,43	4,38
Lodo adensado	ST	4,78	2,70	1,71
	SV	3,04	1,84	1,28
Lodo secundário excedente	SST		0,70	0,59
Lodo digerido (dig. primário)	ST	3,41	1,97	1,82
	SV	2,00	1,19	1,13
Lodo desidratado	ST	28,21	23,41	23,17

Tabela 6. Valores médios das variáveis operacionais das unidades componentes da fase sólida da ETE Arrudas

Unidade	Variável	Período		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3
Adensador por gravidade	Tempo de detenção hidráulica (h)	49	28	26
	Taxa de aplicação de sólidos (kgST/m ² .d)	64	46	19
	Captura de sólidos (%)	18	21	66
Digestor anaeróbio	Tempo de detenção hidráulica (d)	35	47	22
	Carga orgânica volumétrica (kgSV/m ³ .d)	0,90	0,32	0,90
	% de remoção de SV (%)	37	36	43
	Relação SV/ST	0,58	0,61	0,62
	Relação acidez/alcalinidade	-	0,07	0,07
	pH	7,5	7,2	7,1
Desidratação (centrifuga)	Concentração de lodo afluyente (%) (dig. secundário)	-	3,06	2,56
	Captura de sólidos (%)	-	77	75

-: dado não disponível

Avaliação do comportamento dos digestores

A FIG. 1 apresenta o box-plot do tempo de detenção hidráulica e celular nos digestores anaeróbios, nas três fases. Na primeira fase estava funcionando apenas um digestor primário, o que resultou num tempo de detenção hidráulica de 35 dias (acima do usual). O tratamento secundário ainda não estava em operação, existindo somente lodo primário adensado a ser bombeado para o digestor. A partir da segunda fase foi colocado um segundo digestor primário em operação, e o tempo de detenção hidráulica médio foi de 47 dias (Fase 2) e 22 dias (Fase 3). Nota-se que apenas a terceira fase apresenta um tempo de detenção hidráulica mais próximo ao valor de projeto (25 dias), embora a vazão média afluyente à ETE estivesse abaixo da capacidade instalada. Segundo alguns autores, os valores típicos para o tempo de detenção dos digestores anaeróbios situam-se entre 18 a 25 dias para digestão mesofílica. (CIWEM, 1996 apud Luduvic, 2001).

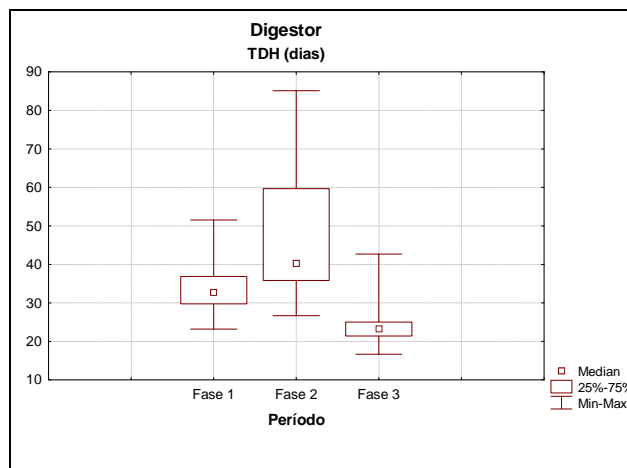


Figura 1 . Box-plot do tempo de detenção hidráulica nos digestores primários

Figura. 2. Observa-se a série temporal da relação SV/ST no digestor primário. Na segunda fase operava-se com dois digestores. Como o comportamento de ambos é similar, foi realizada a média dos valores dos digestores 3 e 4.

Segundo von Sperling e Gonçalves (2001), para lodo digerido a relação SV/ST situa-se entre 0,60 e 0,65. Na primeira fase a relação SV/ST no lodo digerido da ETE Arrudas situou-se em torno de 0,60.

Conforme pode ser visto pelo FIG. 2 as faixas típicas de SV/ST do lodo da Estação na segunda fase de investigação mostram que a média dos valores de SV/ST para lodo misto digerido esteve

dentro dos padrões ($SV/ST = 0,60$ a $0,65$) com valores médios de $0,61$ e para terceira fase, teve-se um valor médio de $SV/ST = 0,62$.

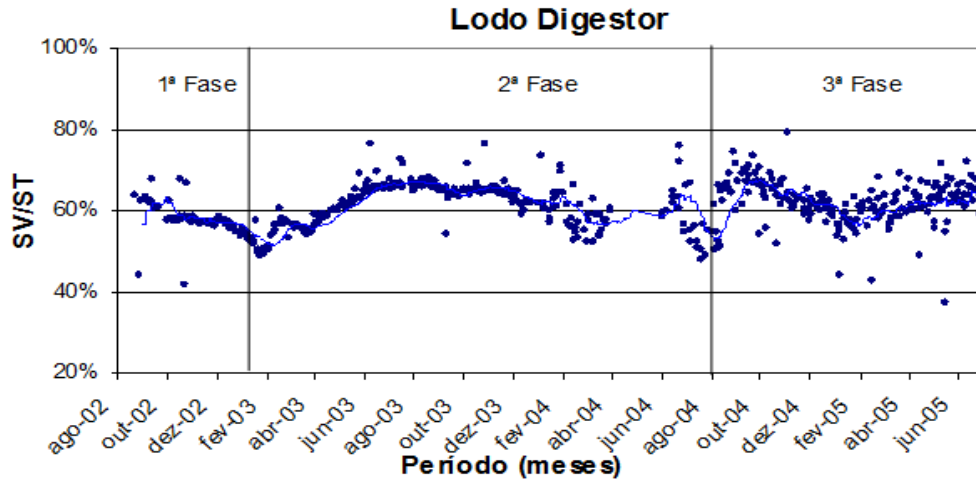


Figura 2. Série temporal da relação SV/ST no digestor

A FIG. 3 apresenta o box-plot da eficiência de remoção de sólidos voláteis durante todas as três fases. Segundo a literatura, a eficiência de remoção de STV na digestão anaeróbia situa-se entre 40 e 55% (SILVA, 1982; VON SPERLING; GONÇALVES, 2001; JORDÃO e PESSOA, 2005). Nota-se que as eficiências médias de remoção de STV foram de 37%, 36% e 43%, nas fases 1, 2 e 3, respectivamente. Observa-se que a eficiência média na remoção de STV durante a primeira e a segunda fases estiveram abaixo dos valores indicados pela literatura. A maior eficiência foi na Fase 3, em que a carga orgânica volumétrica foi maior e o tempo de detenção hidráulica foi menor (mas ambos os parâmetros com valores dentro das taxas usuais da literatura).

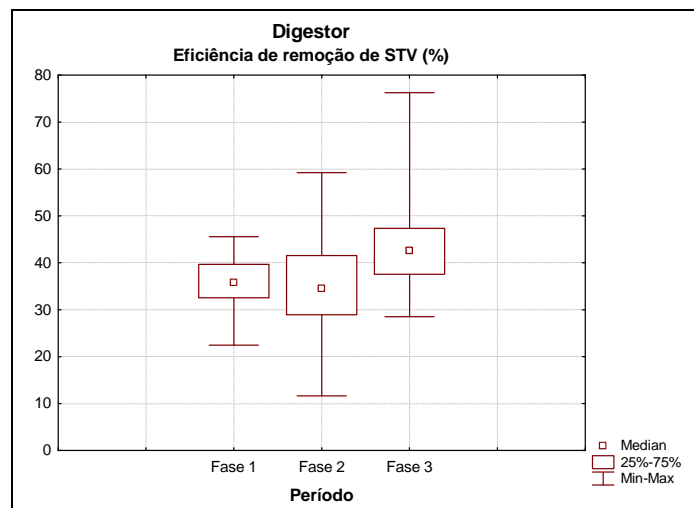


Figura 3. Box-plot da eficiência da remoção de sólidos totais voláteis no digestor

Os valores da carga orgânica volumétrica podem ser visualizados na FIG.4. Na primeira fase, com apenas um digestor em operação, a carga orgânica volumétrica média foi de 0,9 kgSTV/m³.d. Na segunda fase havia dois digestores em operação, e a carga média aplicada foi de 0,32 kgSTV/m³.d, inferior às taxas médias recomendadas pela literatura (em virtude da vazão de lodo ser ainda bem inferior à de projeto)..Na terceira fase, a carga média de sólidos voláteis foi de 0,90 kgSTV/m³.d, valor este satisfatório. O valor das taxas médias recomendadas pela literatura são de 0,8 a 1,6 kgSTV/m³.d (LUDUVICE, 2001).

Segundo Jordão e Pessoa (2005), o processo da digestão funciona nos melhores rendimentos com o pH entre 6,8 e 7,2. Quando o pH cai abaixo de 6,2, os organismos metanogênicos perdem sua atividade e o digestor pode entrar em colapso.

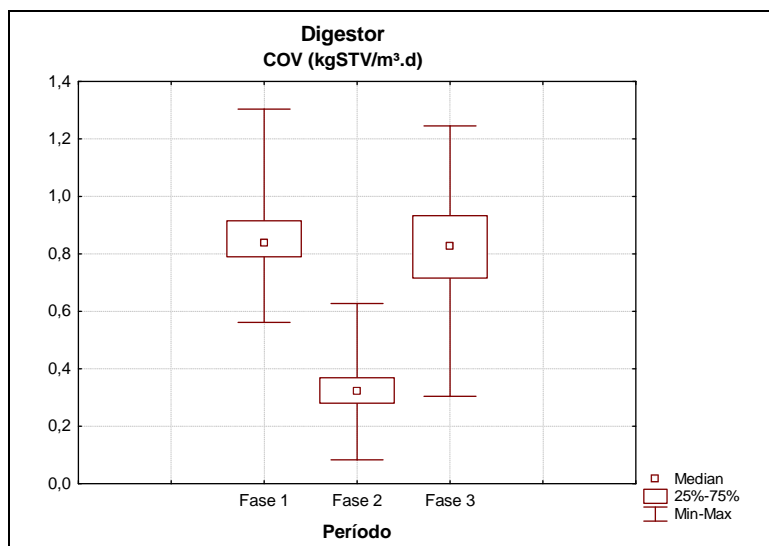


Figura 4 Box-plot da carga orgânica volumétrica no digestor

A FIG. 5 apresenta a série temporal do pH no digestor, ao passo que a FIG. 6 mostra o “Box-plot” do pH nas três fases. A Estação de Tratamento do Arrudas, na primeira fase, operou com um digestor primário com média de pH mais elevadas, variando em torno de 7,5 (valor mínimo de 7,2 e máximo de 7,9). Os valores médios de pH encontrados na ETE Arrudas durante a segunda e terceira fases, para o digestor primário, estão de acordo com as recomendações da literatura.

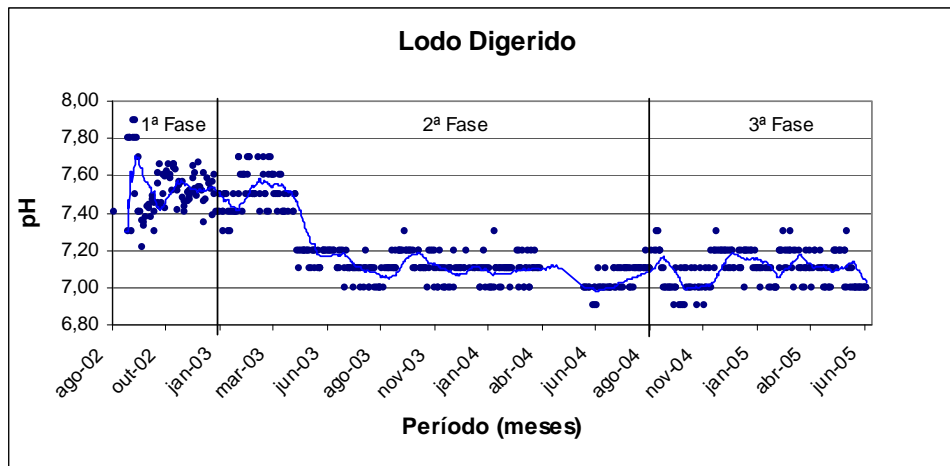


Figura 5. Série temporal do pH no digestor

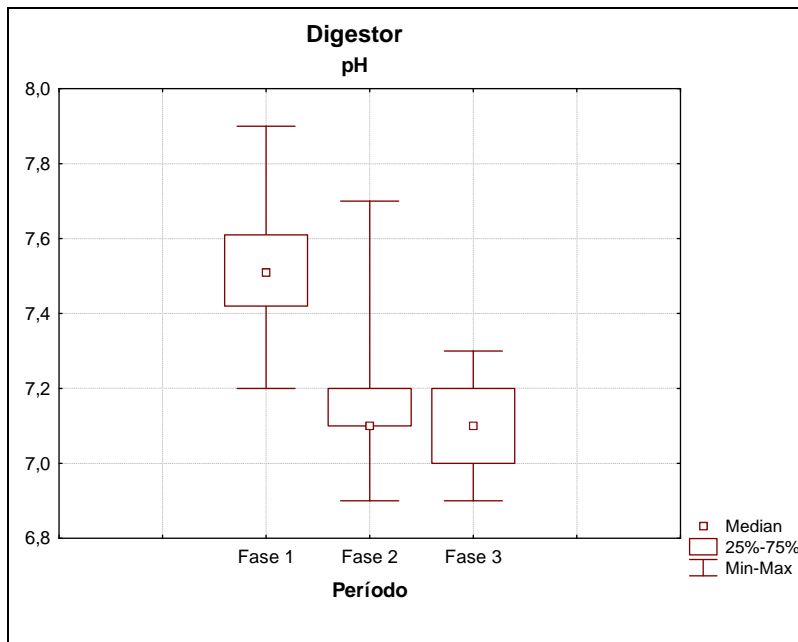


Figura 6. Box-plot do pH no digestor

Considerações finais

De maneira geral, a Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas apresentou um desempenho e comportamento satisfatórios com relação às etapas do tratamento do lodo.

Pela observação e análise dos dados de cada uma das três fases pesquisadas foi possível extrair as seguintes conclusões:

- O lodo digerido proveniente do digestor secundário e que alimenta as centrífugas teve um decréscimo em sua concentração em função do tipo de adensamento ocorrido em cada uma das três fases operacionais.

Primeira fase	3,4 %	Somente lodo primário e adensamento por gravidade
Segunda fase	3,1 %	Lodo misto e adensamento por gravidade
Terceira fase	2,6 %	Lodo primário adensado no próprio decantador. Lodo secundário excedente concentrado no adensador por gravidade

- Com o lodo digerido líquido mais concentrado durante a primeira fase (3,4%), conseguiu-se a maior concentração de sólidos na torta (28,2%).
- Na segunda e terceira fases, com um lodo digerido menos concentrado, a torta atingiu valores de 23,4% e 23,2%, respectivamente.

Referências bibliográficas

- Alem Sobrinho, P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTIYA, M. T. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. cap. 3, p. 41-87. cap. 2, p. 7-40.
- Companhia de saneamento de Minas Gerais – COPASA – MG. *Laudos de análises laboratoriais*. Sabará, MG: Laboratório da ETE, 2001-2005.
- Gonçalves, R. F.; Ludovice, M.; Von Sperling, M. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.). *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 5, p. 159-259.
- Jordão, E. P.; Pessoa, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.
- Metcalf & Eddy, INC. *Wastewater engineering treatment, disposal and reuse*. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, c2003. 1819 p. (McGraw-Hill series in civil and environmental engineering).
- Silva, M. O. S. A. *Manual de operação da ETE Arrudas*. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, 2002. 7 v.

- Silva, M. O. S. A. Tratamento de lodos de esgotos por digestão anaeróbia. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 1., 1982, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SABESP, [1982]. p. 1-34.
- Silva, A .V.A . *Avaliação do tratamento do lodo da ETE Arrudas- MG (Lodos ativados convencional)*. 2006. 108 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Silva, A .V.A. Avaliação do adensamento de lodo da ETE Arrudas – MG (lodos ativados convencional). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. *Anais eletrônicos*. Rio de Janeiro: ABES, 2007. p. 1–6.
- Silva, A .V.A. Comportamento das unidades de tratamento do lodo em uma ETE de lodos ativados convencionais submetida a distintas estratégias operacionais. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 127-133, abr./jun., 2007.
- Von Sperling, M. *Lodos ativados*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997. 416 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 4).
- Von Sperling, M.; Gonçalves, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: Andreoli, C. V.; VON Sperling, M.; Fernandes, F. (Org.) *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 2, p. 17-67.
- Von Sperling, M.; GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 5, p. 159-259.
- Water Environment Federation – WEF. *Design of municipal wastewater treatment plants*. Alexandria, VA: Water Environment Federation; New York, NY: American Society of Civil Engineers, 1992. (WEF manual of practice, n. 8). (ASCE manual and report on engineering practice, n. 76).