

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. *Developing source control programs for commercial and industrial wastewater*. Alexandria, VA: Water Environment Federation, 1996. 382 p. (Manual of practice, OM-4).

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).

WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. *Wastewater treatment plant design*. Alexandria, VA : Water Environment Federation, 2003.

WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION – WPCF. *Sludge thickening: manual of practice*, n. FD-1. Facilities treatment and disposal. Washington, DC, 1980. 163 p.

ZÁBRANSKÁ, J.; DOHÁNYOS, M.; JENICEK, P.; KUTIL, J. Thermophilic process and enhancement of excess activated sludge degradability- two ways of intensification of sludge treatment in the Prague Central Wastewater Treatment Plant. *Water Science & Technology*, v. 49, n. 9, p. 265-272, 2000.

SANT'ANNA, M. P.; SILVA, M. O. S. A.; SILVA, M. F. ETE. Goiânia: tratamento primário quimicamente assistido: eficiência e caracterização do lodo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. *Anais eletrônico...* Rio de Janeiro: ABES, 2005. p. 1-4.

SANTOS, H. F.; TSUTYA, M. T. Aproveitamento e disposição do lodo de estações de tratamento do Estado de São Paulo. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n. 2, p. 70-81, abr./jun. 1997.

SCHWOYER, W. L. K. *Polyelectrolytes for water and wastewater treatment*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 1981. 277 p.

SILVA, M. O. S. A. *Análises físico-químicas para controle das estações de tratamento de esgotos*. São Paulo: CETESB, 1977. 225 p.

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.

TSUTIYA, M. T. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001a. cap. 3, p. 41-87.

TSUTIYA, M. T. Qualidade de biossólidos produzidos em estações de tratamento de esgotos da região metropolitana de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001b, João Pessoa. *Anais eletrônico...* Rio de Janeiro: ABES, 2001b. p. 1-6.

VON SPERLING, M. Associação entre a legislação brasileira de qualidade da água (Resolução CONAMA n. 20/86 de 18 de Junho de 1986) e a seleção de processos de tratamento de esgotos. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 3, n. 1 - n. 2, p. 67-73, jan./mar. - abr./jun., 1998.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995. 240 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

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.; ANDREOLI, C. V. Introdução. 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). p. 13-16.

MATTHEWS, P. (Ed.). *IAWQ: a global atlas of wastewater sludge and biosolids use and disposal*. London: . IAWQ , 1997. (Scientific and technical report, n. 4).

METCALF & EDDY, INC. *Wastewater engineering treatment, disposal and reuse*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334 p. (McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering).

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).

MIKI, M. K. *Utilização de polímeros para condicionamento de lodo de ETE para desidratação em filtro prensa de placas*. 1998. 2 v. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

MIKI, M. K.; ANDRIGUETI, E. J.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida. In: TSUTIYA, M.T. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: SABESP, 2001. cap. 3, p. 41-87.

NOVAK, J. T.; PARK, C. Chemical conditioning of sludge. *Water Science & Technology*, v. 49, n. 10, p. 73-80, 2004.

ØDEGAARD, H. Sludge minimization technologies: an overview. *Water Science & Technology*, v. 49, n. 10, p. 31- 40, 2004.

ØDEGAARD, H.; PAULSRUD, B.; KARLSSON, L. Wastewater sludge as a resource: sludge disposal strategies and corresponding treatment technologies aimed at sustainable handling of wastewater sludge. *Water Science & Technology*, v. 46, n. 10, p. 295- 303, 2002 *apud* RULKENS, W. H. Sustainable sludge management: what are the challenges for the future? *Water Science & Technology*, v. 49, n. 10, p. 11- 19, 2004.

OLIVEIRA, S. M. A.; VON SPERLING, M. Avaliação comparativa de seis tecnologias de tratamento de esgoto, em termos de atendimento a padrões de lançamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. *Anais eletrônico...* Rio de Janeiro: ABES, 2005. p. 1-7.

PIERALISI. *Decanters centrífugos*: [catálogo]. Jesi, Itália, 2000. 1 v.

QASIM, S. R. *Wastewater treatment plants: planning, design and operation*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1985 *apud* 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.

RENSINK, J. H.; RULKENS, W. H. Using metazoan to reduce sludge production. *Water Science & Technology*, v. 36, n. 11, p. 171- 179, 1997.

RULKENS, W. H. Sustainable sludge management: what are the challenges for the future? *Water Science & Technology*, v. 49, n. 10, p. 11- 19, 2004.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; LIMA, M. R. P.; RAMALDES, D. L. C.; FERREIRA, A. C.; TELES, C. R.; ANDREOLI, C. V. Desidratação de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C. V. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 2001. 287 p. (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, 2). cap. 3, p. 57-86.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, 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.

HELLER, L.; NASCIMENTO, N. O.; VON SPERLING, M. Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte 1: O delineamento experimental. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 1, n. 2, abr./jun. 1996.

HENDERSON, R. T.; STEPHEN T. S.; ITNYRE, M. Centrifuges versus belt press in San Bernardino. In: WEF/AWWA JOINT RESIDUALS AND BIOSOLIDS MANAGEMENT CONFERENCE, 1999, Charlotte, N. C. *Conference proceedings...* Alexandria, VA: Water Environment Federation, c1999. p. 1-7.

IRELAND, J. S.; BALCHUNAS, B. M. High-speed, high-solids centrifuges: sorting through mechanical features, manufactures claims and owners opinions. *Water Environment & Technology*. Oct. 1998.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 683 p. *apud* 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.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.

LEBER, R. S.; GARVEY, D. Centrifuge or belt press? Odor control may be a pivotal factor. In: WEF ANNUAL RESIDUALS AND BIOSOLIDS MANAGEMENT CONFERENCE, 14. Mar., 2000. Alexandria, Va: Water Environmental Federation, 2000.

LEE, D. J.; LIU, J. C. Route to synthesize the sludge management processes. *Water Science & Technology*, v. 49, n. 10, p. 259-266, 2004.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. 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. 4, p. 123-157.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Biosolids technology fact sheet: centrifuge thickening and dewatering*. Washington, DC.: Environmental Protection Agency, Sept. 2000. 8 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR part 503*. Washington, DC 20460: Office of Water, Office of Science and Technology Sludge Risk Assessment Branch 147, 1992. 186 p. EPA 625/R – 92/013.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Design manual: dewatering municipal wastewater sludges*. Washington, DC.: Environmental Protection Agency, Sept. 1987. 193 p. EPA Number: 625187014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Process design manual: sludge treatment and disposal*. Washington, DC.: Environmental Protection Agency, 1978. v. 2, 155 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. *Use and disposal of municipal wastewater sludge: environmental regulations and technology*. Washington, DC.: Environmental Protection Agency, Mar. 1989. 76 p.

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G. Estabilização de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 2001. 287 p. (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, 2). cap. 2, p. 29-55.

FIGUEIREDO, I. E.; JORDÃO, E. P.; JÚNIOR, I. V.; DEZOTI, M.; AZEVEDO, J. P. S. Desempenho de produtos químicos no processo CEPT: teste de jarro e escala piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. *Anais eletrônico...* Rio de Janeiro: ABES, 2005. p. 1-6.

FRANÇA, J. L.; VASCONCELLOS, A. C.; MAGALHÃES, M. A.; BORGES, S. M. *Manual para normalização de publicações técnico-científicas*. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2004. (Aprender). 242 p.

FRANCI, R. (Coord.). Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas. [Rio de Janeiro]: PROSAB, 1999 *apud* 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.

FRANCI, R. Sistemas aeróbios com biofilmes. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL. TENDÊNCIAS NO TRATAMENTO SIMPLICADO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS E INDUSTRIAIS, 23., 1996, Belo Horizonte. *Anais eletrônico...* Belo Horizonte, DESA/UFMG, 1996. *apud* 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR – 12 209. Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro, 1992. 12 p.

CETESB. *Norma P. 4230. Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação*. São Paulo, 1999. 32 p.

CHAO, I. R. S. Diagnóstico e otimização dos adensadores por gravidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, Joinville. *Anais eletrônico...* Rio de Janeiro: ABES, 2001. p. 1–6.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 5). 245 p. *apud* 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.

CIWEM. *Handbook on sewage sludge: stabilization and disinfection*. Sudbury, UK: Lavenham Press, 1996 *apud* LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. 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. 4, p. 123-157.

CIWEM. *Handbook on sewage sludge: stabilization and disinfection*. Sudbury, UK: Lavenham Press, 1996 *apud* 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. 4, p. 123-157.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA – MG. *Laudos de análises laboratoriais*. Sabará, MG: Laboratório da ETE, 2001-2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, 17 mar. 2005.

DAVID, A. C. *Secagem térmica de lodos de esgoto: determinação da umidade de equilíbrio*. 2002. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002.

DOHÁNYOS, M.; ZÁBRANSKÁ, J.; KUTIL, J.; JENICEK, P. Improvement of anaerobic digestion of sludge. *Water Science & Technology*, v. 49, n. 10, p. 89-96, 2004.

EGEMEN, E.; COPERNING, J.; NIRMALAKHANDAN, N. Evaluation of an ozonation system for reduced waste sludge generation. *Water Science & Technology*, v. 44, n. 2-3, p. 445- 452, 2001.

ENGLANDE JR., A. J.; REIMERS, R. S. Biosolids management: sustainable development status and future generation. *Water Science & Technology*, v. 44, n. 10, p. 41-46, 2001.

9 -REFERÊNCIAS

AISSE, M. M.; HAANDEL, A. C. van; VON SPERLING, M.; CAMPOS, J. R.; CORAUCCI FILHO, B.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento final do lodo gerado em reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 271-300 *apud* 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.

ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. (Ed.) *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 1999. cap. 1.

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.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th ed. Washington: APHA, 1992. 1 v.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. Washington: APHA, 1998. 1 v.

ANDREOLI, C. V. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 2001. 287 p. (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, 2).

ANDREOLI, C. V.; PINTO, M. A. T. Introdução. In: ANDREOLI, C. V. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 2001. 287 p. (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, 2). p. xxi-xxiv.

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).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NB – 570. Projeto de estação de tratamento de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro, 1995. 12 p.

8 RECOMENDAÇÕES

Considerando as conclusões expostas no item 7, pode se sugerir, primeiramente, algumas modificações operacionais no sistema para maior desempenho da Estação, entre elas:

Concentrar separadamente os lodos primário e secundário em unidades de adensamento adequadas para cada um dos lodos (lodo primário em adensadores por gravidade e lodo secundário em adensadores mecânicos por flotação).

Dar continuidade ao estudo por um período de tempo que possibilite a efetiva aferição da presença de metais pesados ou organismos patogênicos, estudando o lodo também no seu aspecto qualitativo e sua possibilidade de reuso agrícola e recuperação de áreas degradadas.

Aferir a possibilidade de higienização térmica do lodo através do biogás gerado nos digestores anaeróbios.

Realizar amostragem composta das concentrações de sólidos na fase sólida.

Incorporar nas rotinas de operação as tabelas desenvolvidas nesse estudo para facilitar o controle da estação.

Elaborar estudos similares em outras estações de lodos ativados convencional e comparar o desempenho das unidades do tratamento do lodo.

- e) produção de biogás nos digestores anaeróbios;
- a produção de biogás em m^3/kgSTV destruído ocorreu em maior quantidade quando os digestores recebiam somente lodo primário. Na terceira fase, quando o lodo excedente adensado atingiu somente uma concentração de 1,71%, ocorreu uma sensível queda na produção de biogás em relação aos sólidos totais voláteis destruídos.
- f) pelos dados obtidos nas três fases de operação da ETE Arrudas, e que serviram de fonte para a apresentação desse trabalho, pode-se concluir, com relação às unidades que produzem, removem e tratam os lodos a importância da realização contínua do gerenciamento dos seguintes parâmetros:
- concentração dos lodos nas diversas unidades.
 - correlação entre os sólidos totais fixos e os sólidos totais voláteis.
 - volume diário dos lodos produzidos nas unidades.
 - verificação da eficiência das unidades com relação aos parâmetros de projeto.
 - verificação das diversas taxas utilizadas, tais como: taxa de aplicação de sólidos, carga orgânica volumétrica, tempos de detenção hidráulica, volume do lodo produzido nas diversas etapas de tratamento.

Em vista do exposto acima, ressalta-se que o melhor desempenho operacional de uma ETE, pelo processo lodos ativados, se faz através de uma interpretação constante dos resultados, das relações de variáveis, além das análises físico-químicas, buscando, continuamente, a aplicação das devidas operações corretivas com a intenção de se obter um efluente final de excelente qualidade.

hidráulica nos adensadores, acarretava condições anaeróbias, com a flotação de parte do lodo nos decantadores primários com forte despreendimento de maus odores na ETE.

- na terceira fase (adensamento somente do lodo excedente), retornou aos decantadores uma carga menor (6.257 kg/d) não causando nenhum tipo de problema aos mesmos. Embora ocorresse uma captura de 66,17% no adensador, a concentração do lodo secundário adensado não ultrapassou 1,71%.

c) concentração do lodo digerido que alimenta as centrífugas

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	3,41 %	Somente lodo primário
Segunda fase	3,06 %	Lodo misto
Terceira fase	2,56 %	Lodo primário adensado no próprio decantador . Lodo secundário excedente concentrado no adensador por gravidade

d) concentração da torta do lodo desidratado;

- com o lodo digerido líquido mais concentrado durante a primeira fase (3,41%), conseguiu-se a maior concentração de sólidos na torta (28,21%).
- na segunda e terceira fases, com um lodo digerido menos concentrado, a torta atingiu valores de 23,41% e 23,17%, respectivamente.
- o consumo de polímero catiônico esteve, nas três fases, em torno de 4 kg de polímeros em pó para cada tonelada de sólidos secos afluentes às centrífugas.

7 CONCLUSÕES

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 desde o início de sua operação (ano 2001) até junho de 2005, período no qual foram levantados e analisados os dados operacionais existentes.

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

a) concentração dos lodos nos adensadores por gravidade

- o lodo primário concentrado atingiu, na primeira fase, a concentração de 4,78%.
- o lodo misto, na segunda fase, alcançou somente a concentração de 2,70% (concentração do lodo misto previsto em projeto era de 5%).
- a concentração máxima de lodo secundário excedente, na terceira fase, foi de 1,71%.
- com as baixas concentrações dos lodos adensados, na segunda e na terceira fase, houve a necessidade da utilização de um maior número de digestores primários para se conseguir a estabilização dos lodos.

b) retorno de sólidos aos decantadores primários no líquido sobrenadante dos adensadores

- na primeira fase (somente lodo primário adensado) verificou-se a maior carga retornada (51.143 kg ST/dia). No entanto, não ocorreu nenhum problema operacional nos decantadores primários.
- na segunda fase (adensamento do lodo misto) eram retornados aos decantadores 36.009 kg/d. Essa carga, aliada ao elevado tempo de detenção

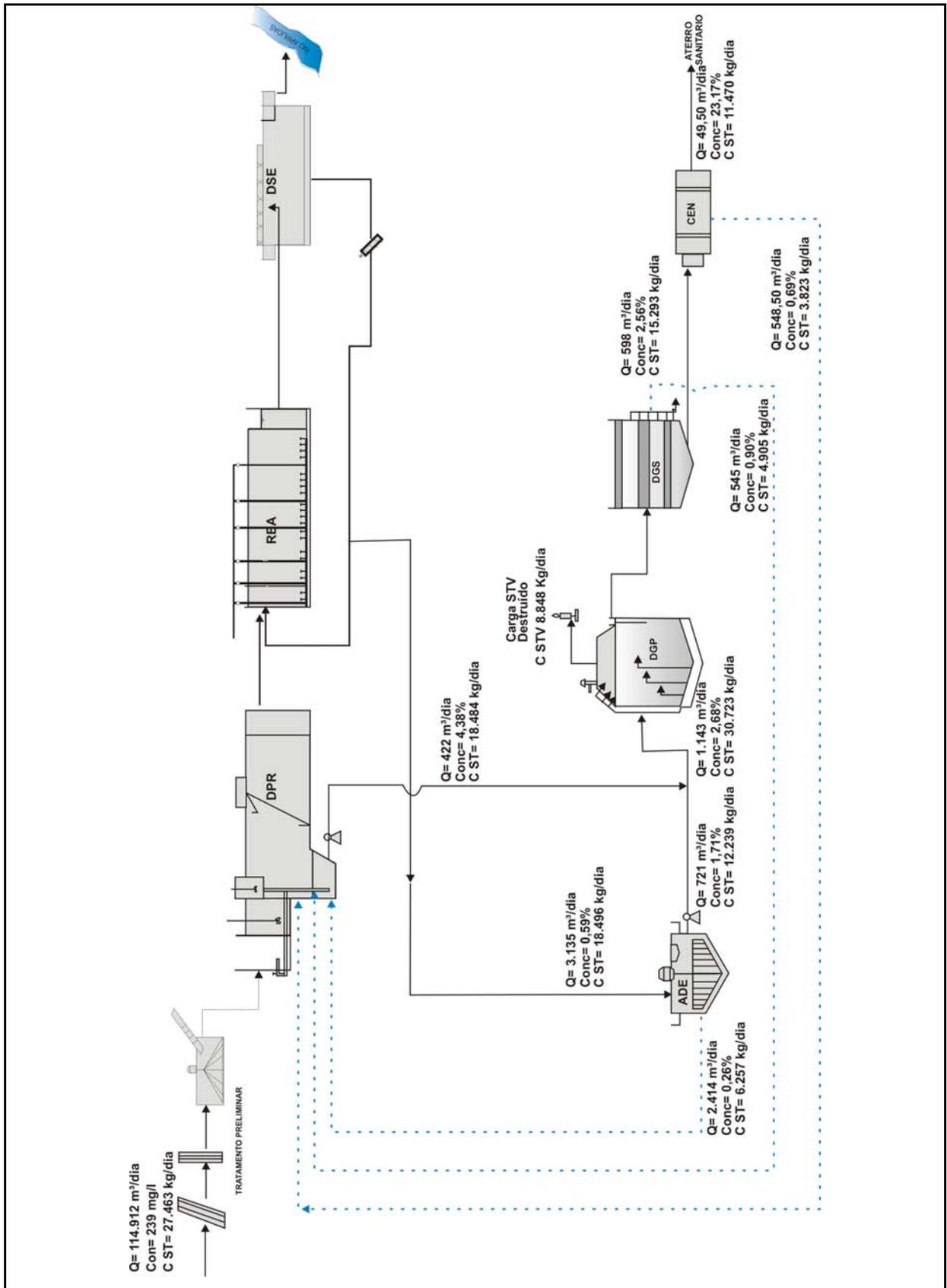


FIGURA 6.31 – Balanço de massa da terceira fase

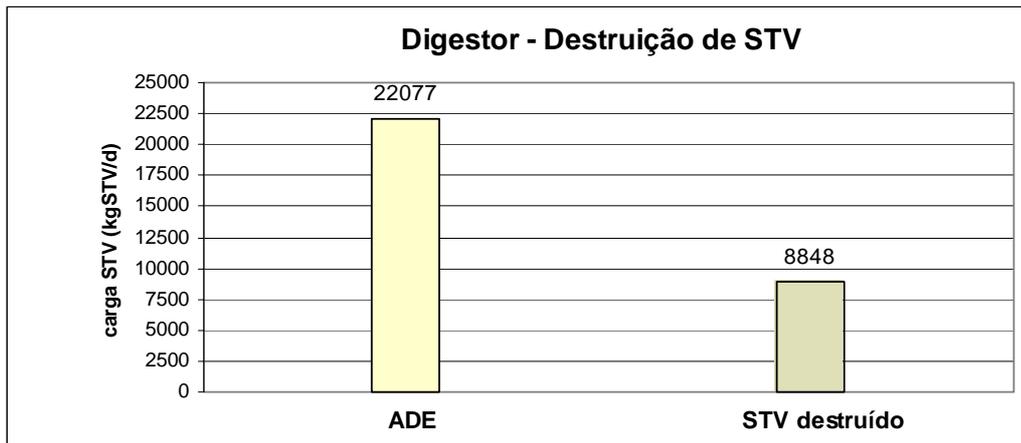


FIGURA 6.30 – Resultado da destruição dos sólidos totais voláteis no digestor na terceira fase

Os valores do balanço de massa da terceira fase estiveram mais consistentes que os das fases iniciais. Isso ocorreu, provavelmente, devido a um controle operacional mais ajustado e disciplinar dos dados operacionais, face às experiências nas fases anteriores e ao comportamento normal dos adensadores, apresentando uma menor variabilidade.

6.7.3 Balanço de massa da terceira fase

Na terceira fase o lodo primário passou a ser adensado nos próprios decantadores e bombeado diretamente para os digestores primários em linha independente do lodo secundário. O lodo secundário excedente passou a ser bombeado diretamente para os adensadores por gravidade e daí passou a ser bombeado para os digestores primários. O lodo afluyente à centrífuga era desidratado e as caçambas de lodo enviadas para o aterro.

Com o bombeamento em separado do lodo primário adensado no próprio decantador e do lodo excedente concentrado nos adensadores por gravidade, a carga de sólidos totais afluyente aos digestores primários foi sensivelmente aumentada. Tal fato acarretou a necessidade de operação dos três digestores primários.

Observa-se pelo balanço de massa que a terceira fase foi caracterizada por uma maior produção de lodo desidratado quando comparado com as demais fases.

Sólidos totais afluentes ao digestor = 30.723 kg/d (1,71 %)

Sólidos totais voláteis afluentes ao digestor = 22.997 kg/d (1,28 %)

Sólidos totais voláteis destruídos na digestão = 8.848 kg/d

Porcentagem de destruição dos sólidos totais voláteis = 38,47 %

A FIG. 6.30 mostra a destruição de STV ocorrida na digestão e a FIG. 6.31 apresenta o balanço de massa da terceira fase, respectivamente.

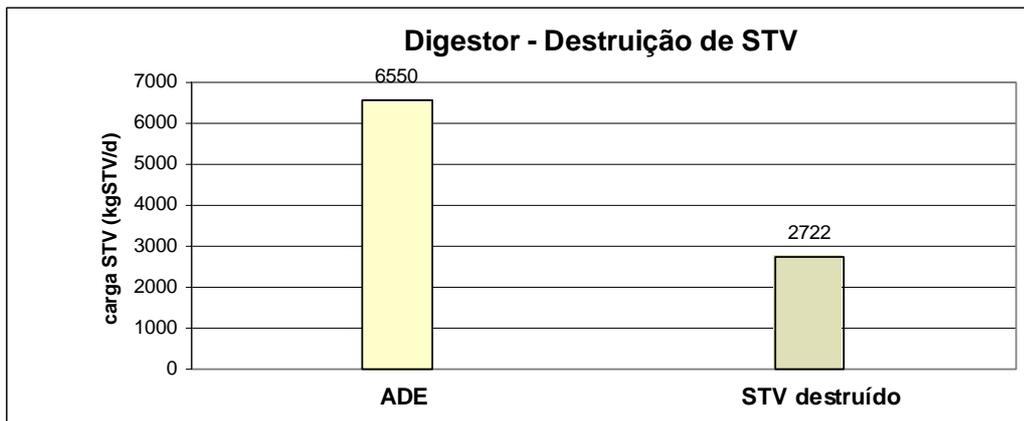


FIGURA 6.28 – Resultado da destruição dos sólidos totais voláteis no digestor na segunda fase

A FIG. 6.29 apresenta o balanço de massa da segunda fase de operação da Estação.

Observa-se pelos balanços de massa da primeira e segunda fases que os valores de sólidos afluentes aos digestores primários, quando comparados com os valores dos sólidos destruídos e que alimentam as centrífugas, não dão um completo fechamento no balanço. Tal fato se deve, possivelmente, aos problemas nos medidores de vazão da ETE com valores ainda não bem aferidos e devido à utilização de dados da concentração de lodo a partir de amostras simples e instantâneas.

6.7.2 Balanço de massa da segunda fase

Na segunda fase de operação entraram em funcionamento os reatores aeróbios e os decantadores secundários. Com o tratamento secundário em operação, a ETE funcionou tratando o lodo misto nos adensadores por gravidade, conforme o projeto original. Esse lodo era bombeado para os digestores primários. O lodo efluente do digestor secundário era desidratado pelas centrífugas.

Pelo balanço de massa da segunda fase pode ser observado:

- a) sólidos totais afluentes ao digestor = 9.612 kg/d (2,70 %);
- b) sólidos totais voláteis afluentes ao digestor = 6.550 kg/d (1,84%);
- c) sólidos totais voláteis destruídos na digestão = 2.722 kg/d
- d) carga de sólidos afluente ao digestor secundário é: 6.890 kg/d;
- e) carga de sólidos afluente à centrífuga: 10.439 kg/d;
- f) em 24 dias são enviados para a centrífuga: 250.536 kg;
- g) em 24 dias entram no digestor secundário: 165.360 kg.

O digestor secundário se mantém como um pulmão de alimentação da centrífuga. Quando cheio é removido um maior volume de lodo para as centrífugas em relação ao volume de lodo efluente dos digestores primários.

A FIG. 6.28 apresenta a destruição de STV ocorrida na digestão.

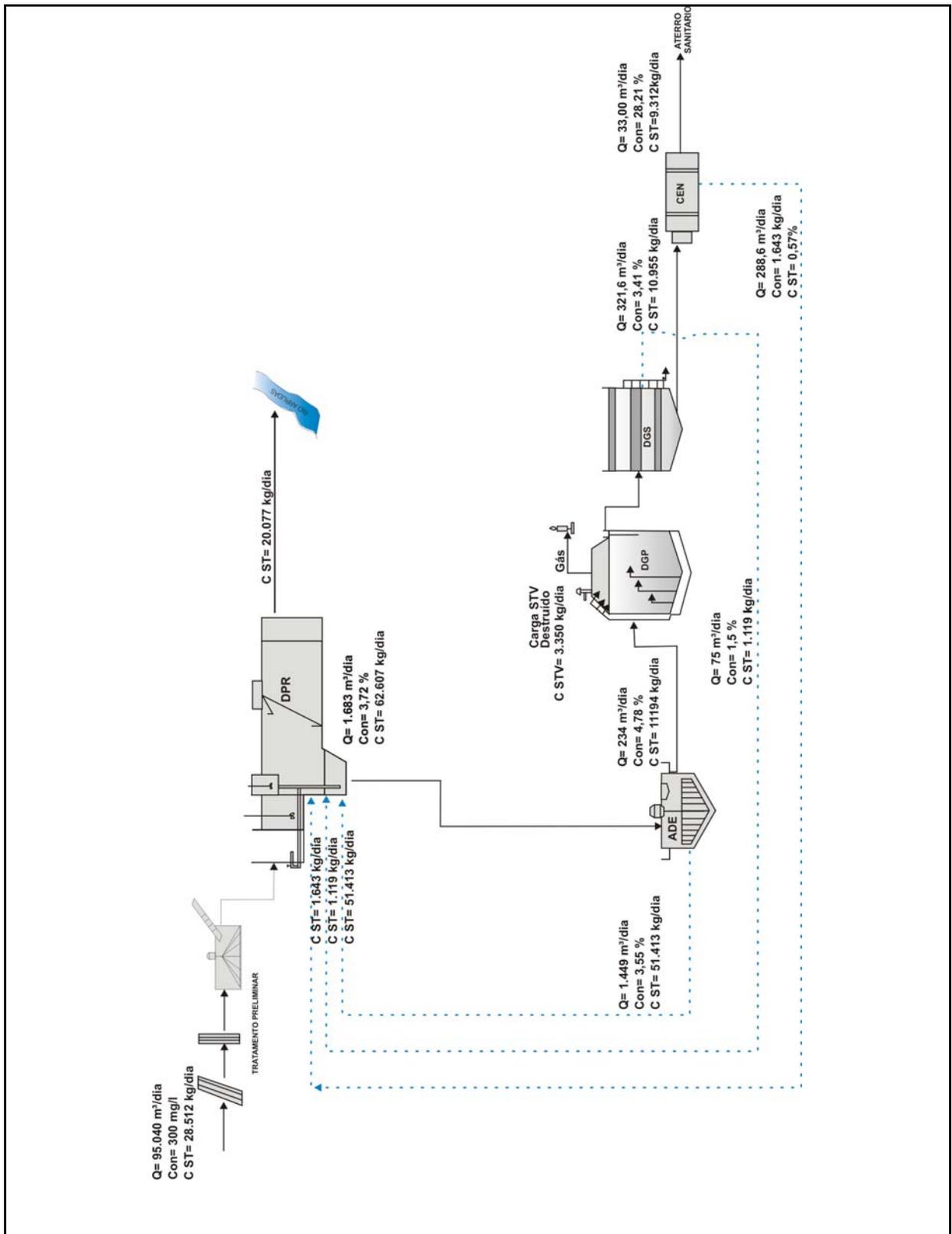


FIGURA 6.27 - Balanço de massa da primeira fase

A FIG. 6.26 apresenta a destruição de STV ocorrida na digestão, ao passo que a FIG. 6.27 mostra o balanço de massa da primeira fase de investigação.

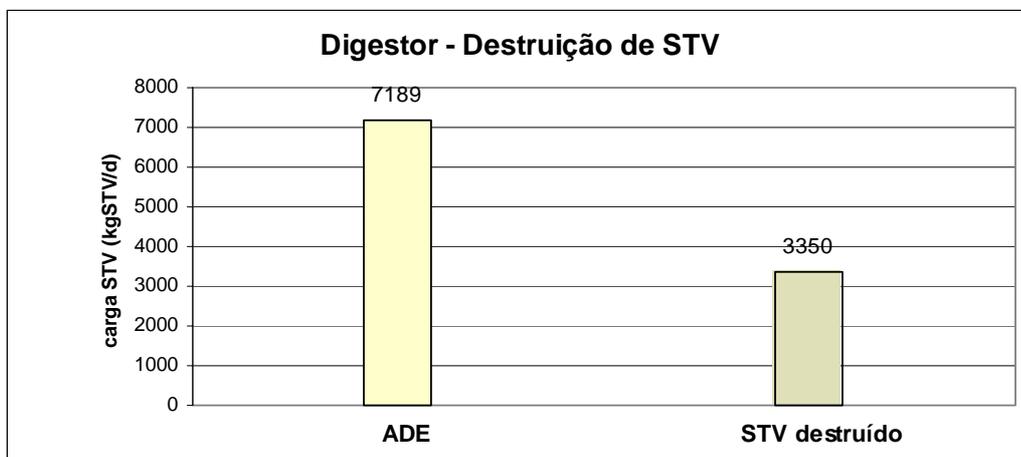


FIGURA 6.26 – Resultado da destruição dos sólidos totais voláteis no digestor na primeira fase

Observa-se pela FIG. 6.27 que a eficiência do decantador primário, em relação à remoção de sólidos em suspensão totais (SST) foi de apenas 29,6%. Isso pode ser explicado pelo fato de que os líquidos sobrenadantes e drenados da ETE Arrudas eram retornados à montante do decantador primário. Nesse período, ocorreu um excesso de sólidos retornados, principalmente, do adensador de lodo, uma vez que o mesmo não foi projetado para adensar exclusivamente lodo primário.

Nota-se que a vazão de alimentação da centrífuga é menor que a vazão afluyente ao digestor primário. Isso tende a ser explicado pelo fato do digestor secundário funcionar como pulmão acumulando lodo nos fins de semana, quando as centrífugas não operavam.

TABELA 6.8

Forma de obtenção dos valores utilizados no balanço de massa do sistema durante as três fases

Etapa	Condição de valor (média)	medido	calculado	assumido
Decantador Primário	Vazão Afluente	x		
	Vazão Efluente	x		
	Concentração do Lodo	x		
	Carga de ST		x	
Adensador por Gravidade	Vazão Afluente	x		
	Vazão Efluente	x		
	Sobrenadante		x	
	Concentração do Lodo	x		
Digestor Primário	Carga de ST		x	
	Carga de STV destruído		x	
	Vazão Afluente	x		
	Concentração do Lodo	x		
Digestor Secundário	Vazão Afluente			x
	Vazão Efluente	x		
	Sobrenadante			x
	Concentração do Lodo	x		
Desidratação	Carga de ST		x	
	Vazão Afluente	x		
	Vazão Efluente	x		
	Sobrenadante		x	
	Concentração do Lodo	x		
	Carga de ST no lodo		x	

6.7.1 Balanço de massa da primeira fase

Durante a primeira fase, onde só existia o tratamento primário, o lodo primário era concentrado no adensador por gravidade e bombeado para o digestor primário. O lodo efluente do digestor secundário era encaminhado à centrífuga, por gravidade, onde ocorria a sua desidratação.

Pelos dados constantes no balanço de massa e pelos resultados da TAB. 6.2 foram obtidos os seguintes valores ocorridos na primeira fase em relação aos sólidos totais voláteis:

Sólidos totais afluentes ao digestor = 11.194 kg/d (4,78 %)

Sólidos totais voláteis afluentes ao digestor = 7.189 kg/d (3,04 %)

Sólidos totais voláteis destruídos na digestão = 3.350 kg/d

6.6.3.3 Terceira fase

Sólidos afluentes à centrífuga

$$\frac{598.000 (l/d) \times 25.600 (mg/L)}{1.000.000} = 15.293 \text{ kgST/d}$$

Captura de sólidos na centrífuga = $15.293 \times 0,75 = 11.464 \text{ kg/d}$

Volume diário de torta a 23,17% = $11.464/0,23 = 34.931 \text{ litros}$

Líquido drenado = $598 \text{ m}^3/\text{d} - 50 \text{ m}^3/\text{d} = 549 \text{ m}^3/\text{d}$

Concentração do líquido drenado = 0,69 %

6.7 *Balanço de massa do sistema*

O balanço de massa é uma descrição quantitativa de todos os materiais que entram, saem e se acumulam em um sistema com limites físicos definidos. O balanço de massa é baseado na lei da conservação de massa, isto é, a massa nunca é criada ou destruída.

O balanço de massa da presente pesquisa foi feito considerando os valores médios dos parâmetros de cada fase. Alguns valores foram medidos, outros calculados e alguns assumidos. A TAB 6.8 mostra como foi realizada a estruturação do balanço de massa em função desses valores.

6.6.3.1 Primeira fase

Sólidos afluente à centrífuga

$$\frac{321.600 (l / d) \times 34.100 (mg / L)}{1.000.000} = 10.955 \text{ kgST} / d$$

Captura de sólidos na centrífuga = $10.955 \times 0,85 = 9.312 \text{ kg/d}$

Volume diário de torta a 28,21% = $9.312/0,28 = 33.257 \text{ litros}$

Líquido drenado = $321,6 \text{ m}^3/\text{d} - 33 \text{ m}^3/\text{d} = 289 \text{ m}^3/\text{d}$

Concentração do líquido drenado = 0,57 %

Na primeira fase, devido à informação incompleta de alguns dados quanto à desidratação, o valor da captura de sólidos foi estimado em 85% baseado em dados de projeto. As demais fases apresentam um valor real desse parâmetro, que foi calculado com base nas cargas afluente e efluente à centrífuga de desidratação.

6.6.3.2 Segunda fase

Sólidos afluente à centrífuga

$$\frac{341.000 (l / d) \times 30.600 (mg / L)}{1.000.000} = 10.439 \text{ kgST} / d$$

Captura de sólidos na centrífuga = $10.439 \times 0,74 = 7.725 \text{ kg/d}$

Volume diário de torta a 23,41% = $7.725/0,23 = 33.586 \text{ litros}$

Líquido drenado = $341 \text{ m}^3/\text{d} - 33 \text{ m}^3/\text{dia} = 308 \text{ m}^3/\text{d}$

Concentração do líquido drenado = 0,88 %

Na segunda fase, a captura de sólidos pela centrífuga esteve abaixo dos valores de projeto e dos citados na revisão de literatura. Isso ocorreu, possivelmente, pela dosagem não bem ajustada dos polímeros em função dos sólidos totais afluente às mesmas.

2005 indicou a necessidade de um maior número de horas de operação das centrífugas face ao excessivo volume de lodo acumulado no digestor secundário, nas fases anteriores.

6.6.2 Operação da centrífuga da desidratação

A TAB. 6.7, apresenta os valores calculados e os parâmetros medidos na unidade da desidratação.

TABELA 6.7

As condições de operação da centrífuga durante as três fases de produção de lodo ocorridas na ETE Arrudas

Parâmetros	Condição de valor (média)	1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase
Volume médio afluyente à centrífuga (m ³ /dia)	Medido	322	341	598
	Calculado	-	-	-
	Assumido	-	-	-
Concentração de ST no lodo digerido (%)	Medido	3,41	3,06	2,56
	Calculado	-	-	-
	Assumido	-	-	-
Concentração média de ST no torta desidratado (%)	Medido	28,21	23,41	23,17
	Calculado	-	-	-
	Assumido	-	-	-
Captura de sólidos na centrífuga (%)	Medido	-	-	-
	Calculado	-	74	75
	Assumido	85	-	-
Volume diário da torta (m ³ /dia)	Medido	33	33	50
	Calculado	-	-	-
	Assumido	-	-	-
Líquido drenado (m ³ /dia)	Medido	-	-	-
	Calculado	289	308	549
	Assumido	-	-	-
Concentração de ST no líquido drenado (%)	Medido	-	-	-
	Calculado	0,57	0,88	0,69
	Assumido	-	-	-

6.6.3 Características do lodo desidratado (torta) e do líquido centrado

Com base nos valores medidos e assumidos na desidratação da centrífuga, alguns parâmetros foram calculados, durante todas as fases, para caracterizar o lodo desidratado e o centrado. Em cada fase foram calculados a carga de sólidos afluyente à centrífuga, a captura de sólidos na unidade, volume diário do torta e do líquido drenado.

6.6 Avaliação do comportamento da desidratação

A avaliação do desempenho da desidratação de lodo foi realizada por cálculos do volume de lodo desidratado, da operação da centrífuga da desidratação e da avaliação das características da torta e do líquido centrado.

6.6.1 Determinação do volume de lodo desidratado

A FIG. 6.25 apresenta a média diária do volume de lodo desidratado da ETE Arrudas durante todas as fases de operação.

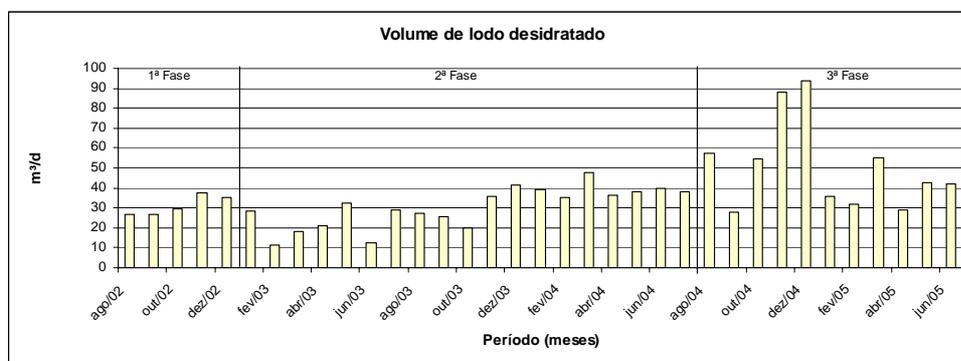


FIGURA 6.25 – Resultado do volume de lodo desidratado na ETE Arrudas

A média, durante a primeira fase, foi de aproximadamente, 33 m³/d. Nesse período, operava-se com uma centrífuga de vazão 36 m³/h. Era retirada uma média diária de 8 caçambas por dia com capacidade unitária de 4,0 m³. Essa torta era enviada para o aterro sanitário.

Na segunda fase, retirava-se uma média de 8,2 caçambas por dia com capacidade de 4,0 m³. O volume médio do torta desidratado, nessa fase, foi de 33 m³/d.

Durante a terceira fase, nota-se pelo gráfico um aumento do volume médio do torta desidratado, produzindo um volume médio total de 50 m³/d. Era retirada uma média mensal de 152 caçambas por mês ou 5 caçambas por dia com capacidade de 10,0 m³ cada uma. Esse crescimento do volume de lodo desidratado nos meses de novembro de 2004 a janeiro de

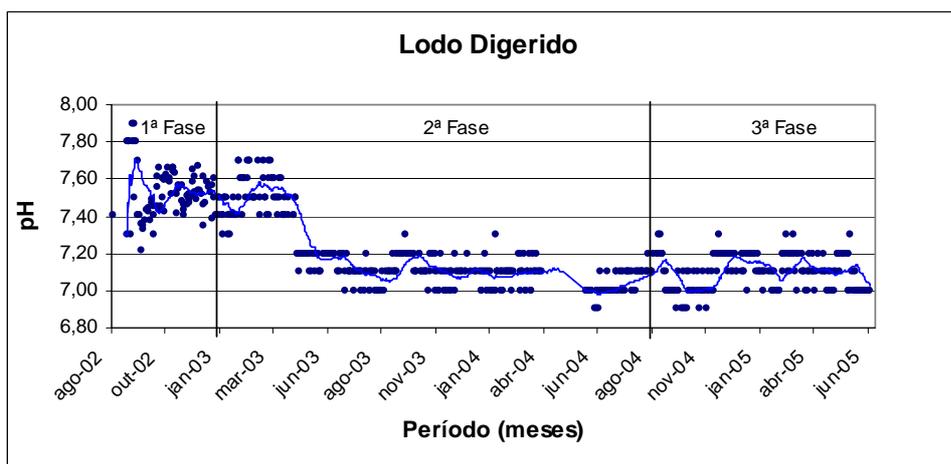


FIGURA 6.23 – Série temporal do pH no digestor

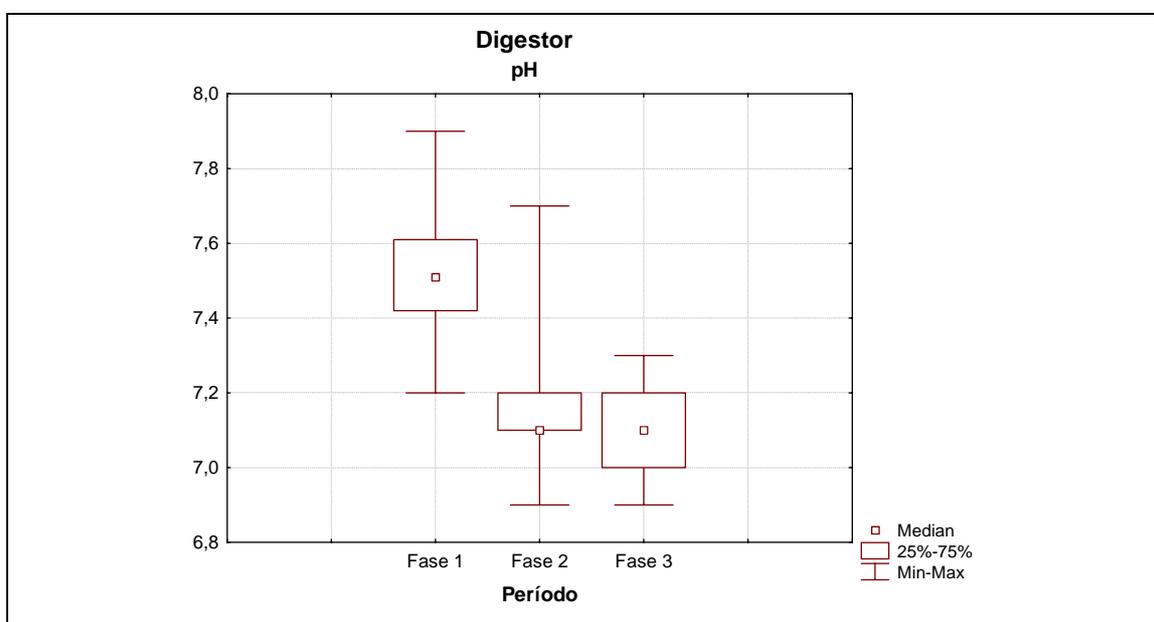


FIGURA 6.24 – Box-plot do pH no digestor

A Estação de Tratamento do Arrudas, na primeira fase, operou com um digestor primário com média de pH variando em torno de 7,5. O valor mínimo foi de 7,2 e máximo foi de 7,9.

Os valores médios de pH encontrados na ETE Arrudas durante a segunda fase, para o digestor primário, corroboram com o que foi pesquisado na revisão de literatura. Os valores observados para o digestor variaram de 6,9 a 7,7.

Na terceira fase, o pH médio observado para o digestor primário apresentou os valores de 6,9 a 7,3 e esteve dentro dos valores enfatizados na revisão da literatura.

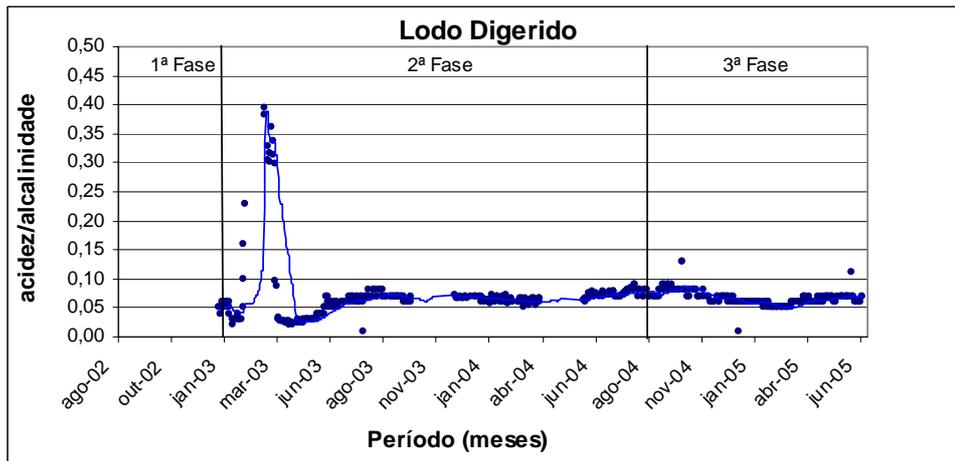


FIGURA 6.22 – Série temporal da relação acidez/alcalinidade no digestor

Pela FIG. 6.22 observa-se que os valores encontrados na relação acidez/ alcalinidade estão em consonância com a literatura.

Durante a terceira fase o parâmetro da acidez/alcalinidade foi atendido, conforme valores enfatizados na revisão de literatura item 3.2.2.4. A faixa de variação foi de 0,01 a 0,013 (média= 0,07).

O aumento do valor da relação acidez/alcalinidade no mês de fevereiro de 2003 se deu em função do aumento dos ácidos voláteis. Isso tende a mostrar que, por um curto período de tempo, a remoção do lodo excedente no início do processo secundário afetou as condições de operação do digestor. Embora os valores dos ácidos voláteis terem, momentaneamente, se elevado, acarretando um aumento na relação acidez volátil/alcalinidade, não houve queda do pH no mês de fevereiro, face à capacidade tamponante do digestor.

6.5.6 pH

Segundo Silva (1977) e 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.

A FIG. 6.23 apresenta a série temporal do pH no digestor ao passo que a FIG. 6.24 apresenta o “Box-plot” do pH nas três fases.

TABELA 6.6

Parâmetros do sistema de biogás nas três fases

Fases	Volume de biogás (m ³ /d)	Produção de biogás/carga STV afluyente aos digestores (m ³ /kgSTV)	Produção de biogás/carga STV destruído (m ³ /kgSTV)
1	5.288	0,74	1,58
2	3.620	0,55	1,33
3	8.092	0,35	0,91

Os valores do volume foram registrados pelo medidor de biogás da ETE. A faixa de produção de biogás está próxima à citada pela literatura, que varia de 0,5 a 0,75m³/kgSTV adicionados ao digestores ou de 0,75 a 1,12 m³/kgSTV destruídos (METCALF & EDDY, INC., 1991; WEF, 1992).

Observa-se pela tabela acima que a maior produção de biogás por kgSTV destruído aconteceu na primeira fase quando o digestor recebia somente lodo primário adensado com uma concentração de 4,78%. Durante a segunda fase essa produção foi de 1,33 kgSTV/destruído. Na terceira fase houve a menor produção de biogás por kgSTV destruído, mas ainda estava dentro dos valores reportados pela literatura.

6.5.5 Relação acidez/alcalinidade

Segundo Silva (1977), a relação acidez/alcalinidade é indicadora da capacidade tamponante do digestor. As concentrações de alcalinidade total do lodo em digestão são os primeiros valores mensuráveis e indicativos de que o processo está em bom funcionamento. Essa relação pode variar de 0,1 a 0,5 sem ocorrer problemas com a digestão. Quando ele é maior que 0,5 indica que o digestor entrou em colapso, ocorrendo a queda da produção de gás, pH baixo e presença de maus odores na estação.

A FIG. 6.22 apresenta a série temporal da relação acidez/alcalinidade.

6.5.4 Eficiência de remoção dos sólidos voláteis

Na digestão, os sólidos fixos permanecem inalterados, mas os sólidos voláteis são, parcialmente, removidos e transformados em gás metano e líquido. A eficiência de remoção de STV na digestão situa-se entre 40 e 55% (SILVA, 1982; VON SPERLING; GONÇALVES, 2001). A FIG. 6.21 apresenta a série histórica da eficiência de remoção de sólidos voláteis durante as três fases.

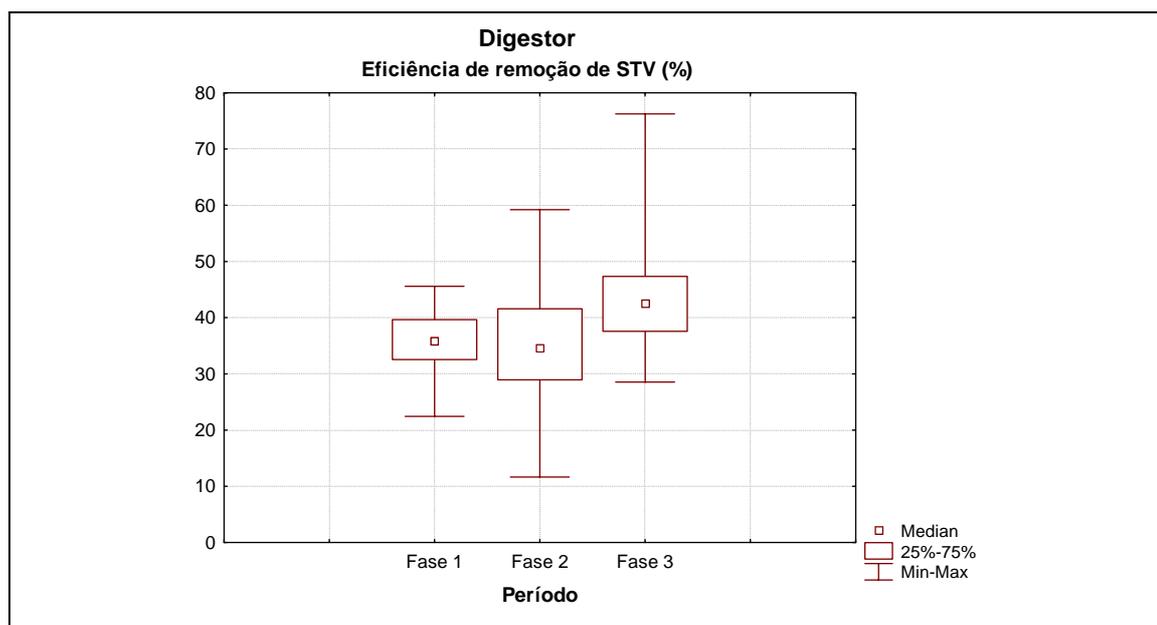


FIGURA 6.21 – Box-plot da eficiência da remoção de sólidos totais voláteis no digestor

Pela FIG. 6.21 observa-se que a eficiência média na remoção de STV durante a primeira e a segunda fases estiveram abaixo dos valores indicados pela literatura, pois apresentaram valores de 37% e 36%, respectivamente. Na terceira fase a média da eficiência dos digestores anaeróbios quanto à remoção de STV foi superior (43%).

A remoção de sólidos voláteis nos digestores anaeróbios está relacionada com a produção de biogás. A TAB.6.6 mostra as diversas correlações entre os volumes diários de biogás, a produção de biogás em m³ por kg de STV afluente aos digestores e a produção de biogás em m³/kgSTV destruído.

Nota-se pelos gráficos que apenas a terceira fase apresenta um tempo de detenção hidráulica (TDH) conforme previsto no projeto, embora a vazão média afluyente à ETE estivesse abaixo da capacidade instalada. Isso mostra a necessidade da melhoria do processo de adensamento de lodo da ETE.

6.5.3 Relação SV/ST no digestor

Pela FIG. 6.20 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.

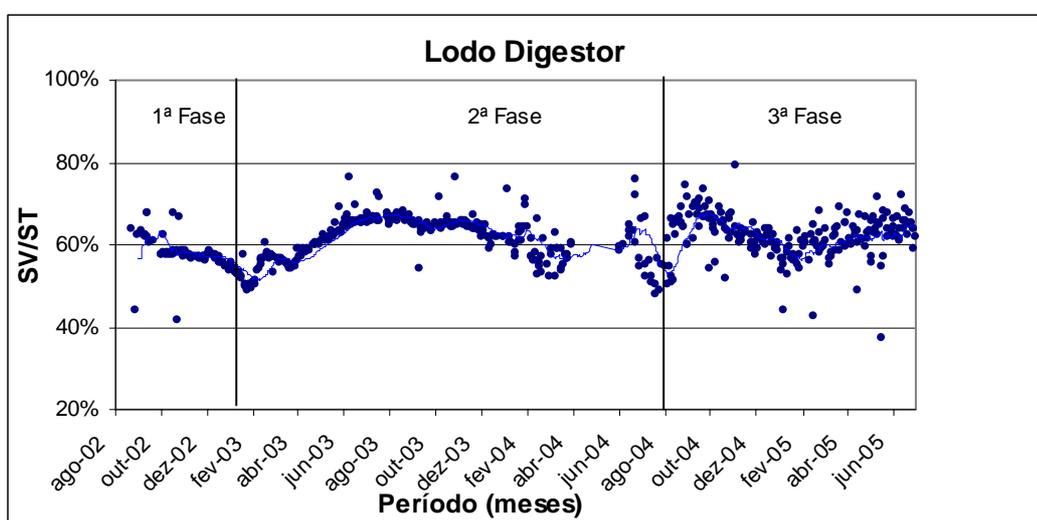


FIGURA 6.20 – Série temporal da relação SV/ST no digestor

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. 20 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 , tem-se um valor médio de SV/ST= 0,62.

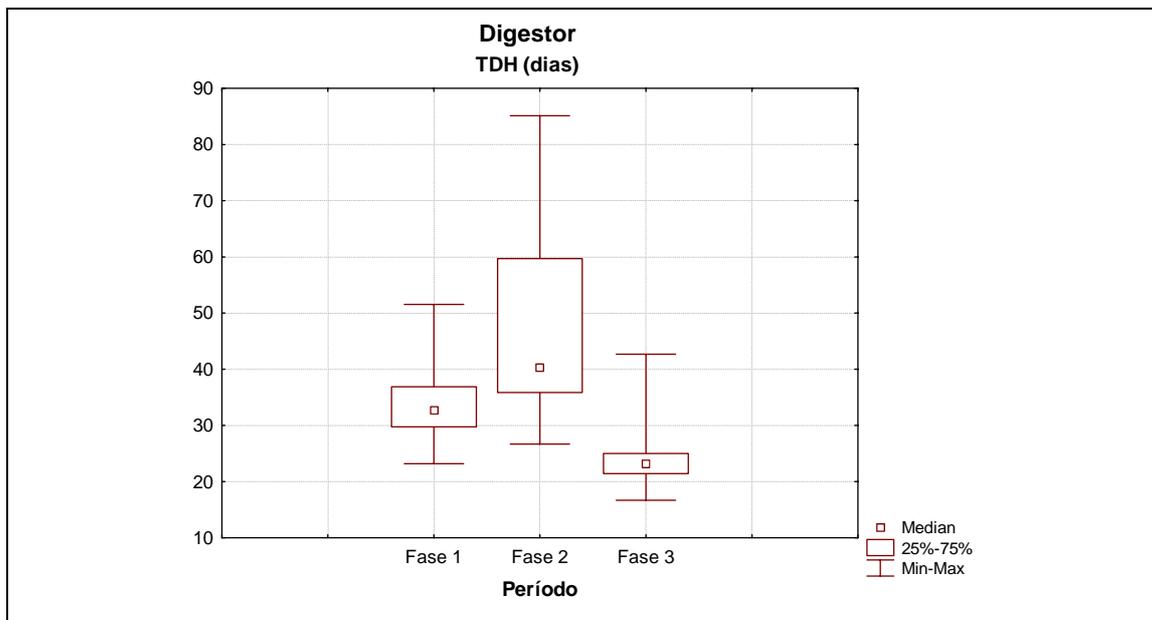


FIGURA 6.19 – Box-plot do tempo de detenção hidráulica no digestor

Na primeira fase estava funcionando apenas um digestor primário. Pelas FIG. 6.18 e FIG. 6.19 observa-se que esse valor está acima do esperado. A primeira fase operou com uma temperatura média do digestor de 27,6 °C, com digestor projetado para trabalhar nas condições mesofílicas. O tempo de detenção hidráulica foi de 35 dias o qual esteve, nessa fase, acima do tempo de digestão especificado em projeto. O tratamento secundário ainda não estava em operação, existindo somente lodo primário adensado a ser bombeado para o digestor.

Na segunda fase, foi colocado um segundo digestor primário em operação. Assim, o volume total dos digestores = 16.600 m³. A vazão média de lodo adensado afluente ao digestor foi de 356 m³/d. O tempo de detenção hidráulica (TDH) resultante médio encontrado foi de 46,6 dias. Ressalta-se que é um valor alto, corroborando com a revisão da literatura citada no item 3.2.2.4, que afirma que os valores esperados para condições mesofílicas estão entre 20 a 25 dias.

Durante a terceira fase, a vazão média de lodo afluente ao digestor foi de 1.143 m³/dia (422 m³/d de lodo primário + 721 m³/d de lodo secundário excedente). O volume total de 3 digestores = 24.900 m³. O tempo de detenção hidráulica (TDH) resultante médio foi de 21,78 dias. Ressalta-se que é um valor próximo dos reportados pelo projeto que previa 25 dias.

Na segunda fase havia dois digestores em operação, cada um com volume de 8.300 m³, volume total de 16.600 m³, a carga média afluyente ao digestor foi de 5.459 kgSTV /d. Calculou-se a carga orgânica volumétrica diária. Encontrou-se a média de COV= 0,32 kgSTV/m³.d. O valor é inferior às taxas médias recomendadas pela literatura que são de 0,8 a 1,6 kgSTV/m³.d (LUDUVICE, 2001).

Na terceira fase ,a carga média de sólidos voláteis afluyente aos digestores foi igual a 21.506 kgSTV /d. Calculou-se a carga orgânica volumétrica média (COV= 0,90 kgSTV/m³.d). O valor está satisfatório,conforme apontado pela literatura.

6.5.2 Tempo de detenção hidráulica no digestor

Segundo alguns autores, os valores típicos para o tempo de detenção dos digestores anaeróbios situam-se entre 18 a 25 dias. (CIWEM, 1996 *apud* Luduvic, 2001).

A FIG. 6.18 apresenta a série temporal do tempo de detenção hidráulica nos digestores e a FIG. 6.19 apresenta o Box-plot do tempo de detenção nas três fases.

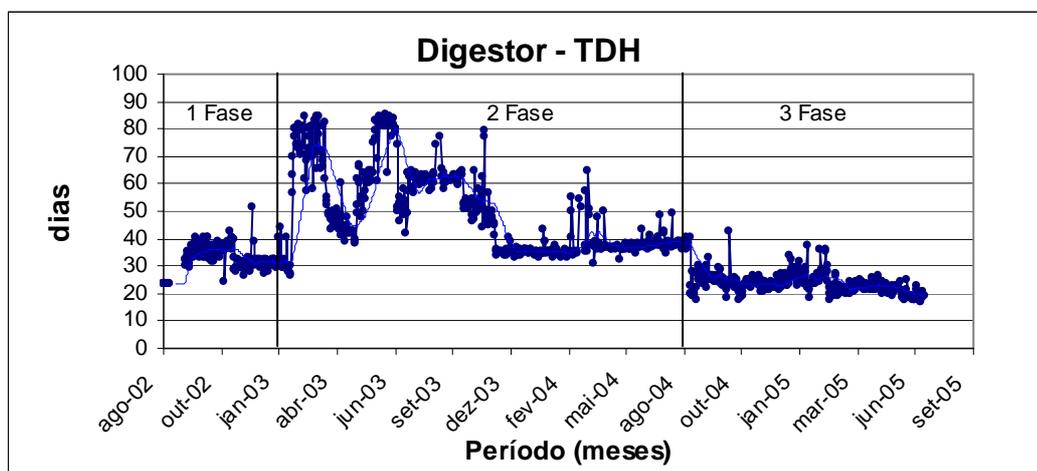


FIGURA 6.18 – Série temporal do tempo de detenção hidráulica no digestor

Os valores da carga orgânica volumétrica podem ser visualizados nas FIG.6.16 e FIG. 6.17 onde apresentam a série histórica do parâmetro analisado e os valores, em gráficos “Box-plot” com uma informação direta, de cada fase analisada.

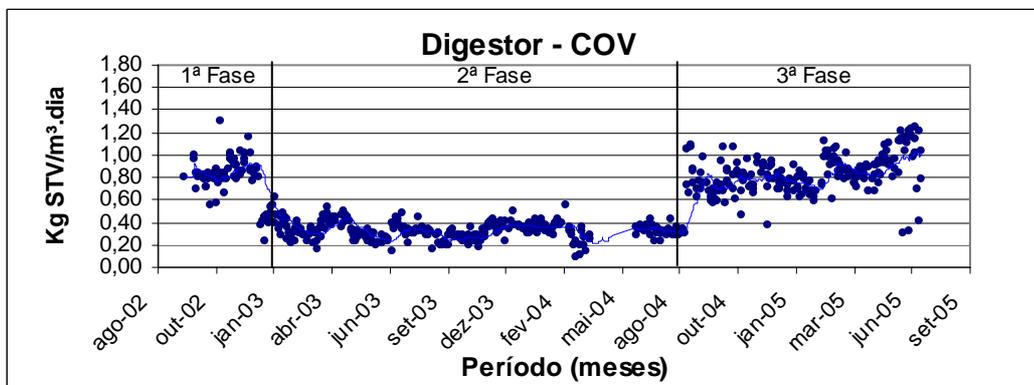


FIGURA 6.16 – Série temporal da carga orgânica volumétrica no digestor

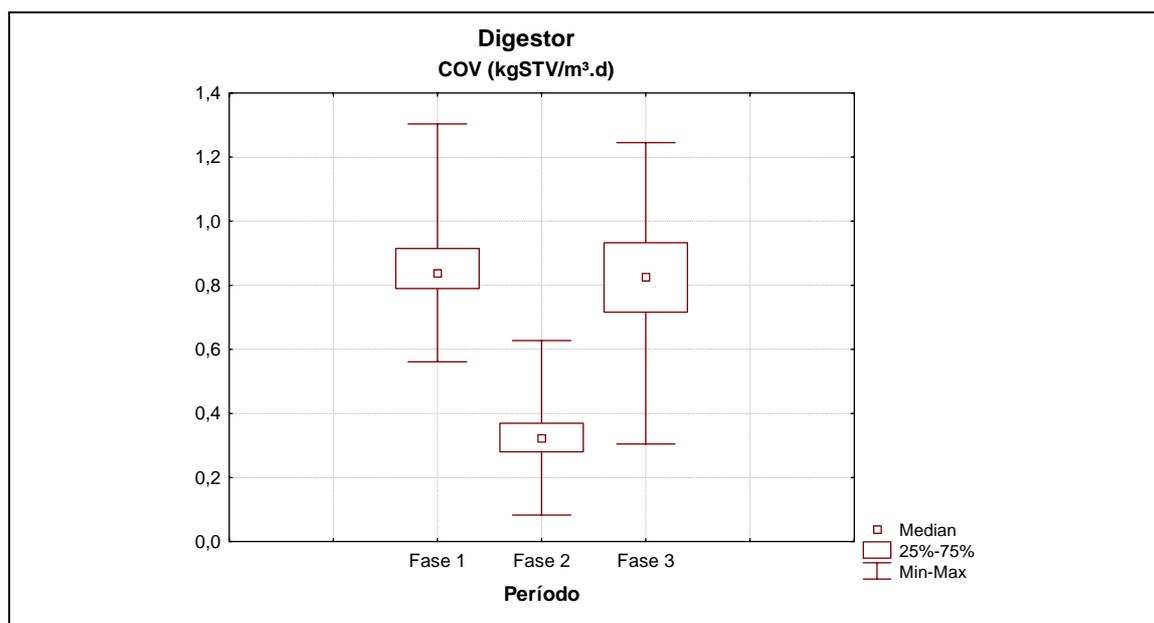


FIGURA 6.17 – Box-plot da carga orgânica volumétrica no digestor

Durante a primeira fase de operação, a carga média afluyente ao digestor foi de 7.189 kgSTV/d. Para um digestor em operação com o volume de 8.300 m³, a carga orgânica volumétrica média resultante foi de 0,9 kgSTV/m³.d, conforme mostrado nos gráficos acima.

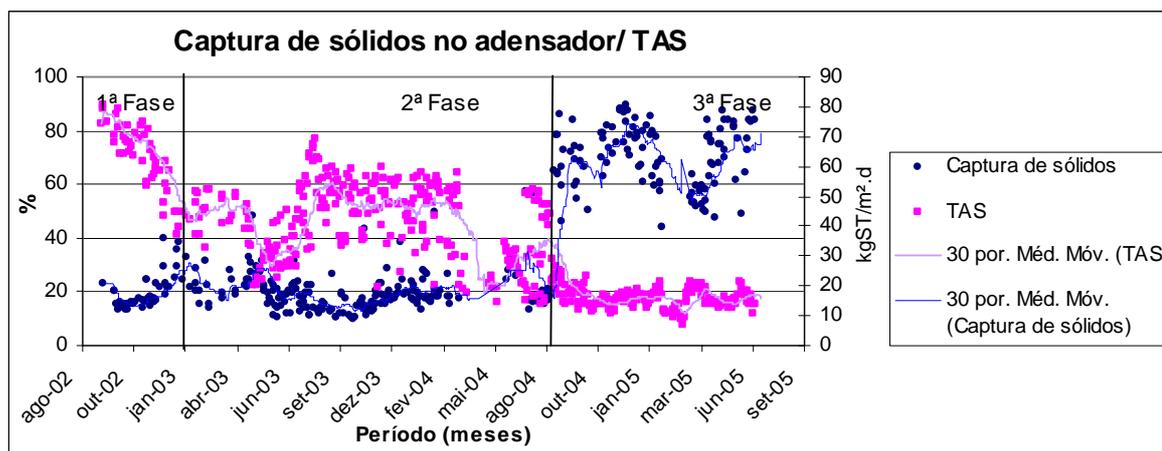


FIGURA 6.15 – Série temporal da correlação das variáveis: captura de sólidos e taxa de aplicação de sólidos no adensador.

Pela FIG. 6.15, verifica-se que a interrelação entre as taxas de aplicação de sólidos (TAS) e a captura dos mesmos é demonstrada da seguinte forma: para uma menor taxa de aplicação corresponde uma maior captura e, inversamente, uma menor captura é conseguida quando se aumenta a taxa de aplicação de sólidos. Observa-se que na primeira fase houve uma captura baixa no adensador, média de 17,87% e uma TAS média de 64 kg/m².d. Para a segunda fase, onde ocorreu uma captura de 21% teve uma TAS de 46,45 kg/m².d fase. Na terceira fase de operação, a captura aumentou em relação às outras duas fases, atingindo 66% e TAS= 19 kg/m².d. Confirmando o fato de que quando TAS diminuía, a captura de sólidos aumentava. Esse fato ficou caracterizado na terceira fase quando a alimentação do adensador realizou-se de maneira contínua.

6.5 Avaliação do comportamento dos digestores

A avaliação do desempenho dos digestores de lodo foi realizada através de cálculos das taxas de parâmetros operacionais, relações de variáveis e análises de coleta.

6.5.1 Carga orgânica volumétrica

A carga orgânica volumétrica – COV, é um parâmetro típico para dimensionamento de digestores anaeróbios. Dados do projeto, conforme revisão da literatura, especificam uma COV= 1,70 kgSTV/m³.dia para uma vazão de 4,5 m³/s de fim de plano.

Desta forma, captura de sólidos, é $100 (\%) \times \frac{9.612 \text{ kg / d}}{45.621 \text{ kg / d}} = 21,06 \%$

Esses valores de captura de sólidos também encontram – se abaixo dos valores reportados pela literatura, que indicam uma faixa de 80 a 90% de captura do lodo misto no processo de adensamento por gravidade. (QASIM 1985 *apud* VON SPERLING; GONÇALVES, 2001). Uma das possíveis causas investigadas desse baixo rendimento dos adensadores se deve à operação por batelada na descarga de lodo primário. Enquanto o lodo secundário excedente era enviado aos adensadores, durante 24 horas, o lodo primário era bombeado a uma vazão de 61 m³ a cada hora.

A captura de sólidos, durante a terceira fase, apresentou um valor para a carga de lodo excedente médio= 18.496 kg/d e a carga de sólidos adensados afluyente ao digestor igual a 12.239 kg/d. Com isto, obteve-se o resultado da captura de sólidos da seguinte forma:

Captura de sólidos : $100 (\%) \times \frac{12.239 \text{ kg / d}}{18.496 \text{ kg / d}} = 66 \%$

Segundo a literatura, valores satisfatórios da eficiência de captura de sólidos para lodo secundário adensado por gravidade variam de 75 a 85% (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001). Na ETE Arrudas, conforme pode ser visto pelas FIG. 6.13 e FIG. 6.14, os resultados apresentaram-se abaixo do esperado durante todas as fases de investigação. A melhoria da captura na terceira fase é evidente pelos gráficos. Nesse período, o tempo de detenção hidráulica nos adensadores foi de 26 horas, recebendo vazão constante de lodo excedente. Esse fato melhorou, sensivelmente, a captura de sólidos quando comparado com as duas fases anteriores.

A FIG. 6.15 apresenta a série temporal da interrelação das variáveis de captura de sólidos no adensador por gravidade e a taxa de aplicação de sólidos.

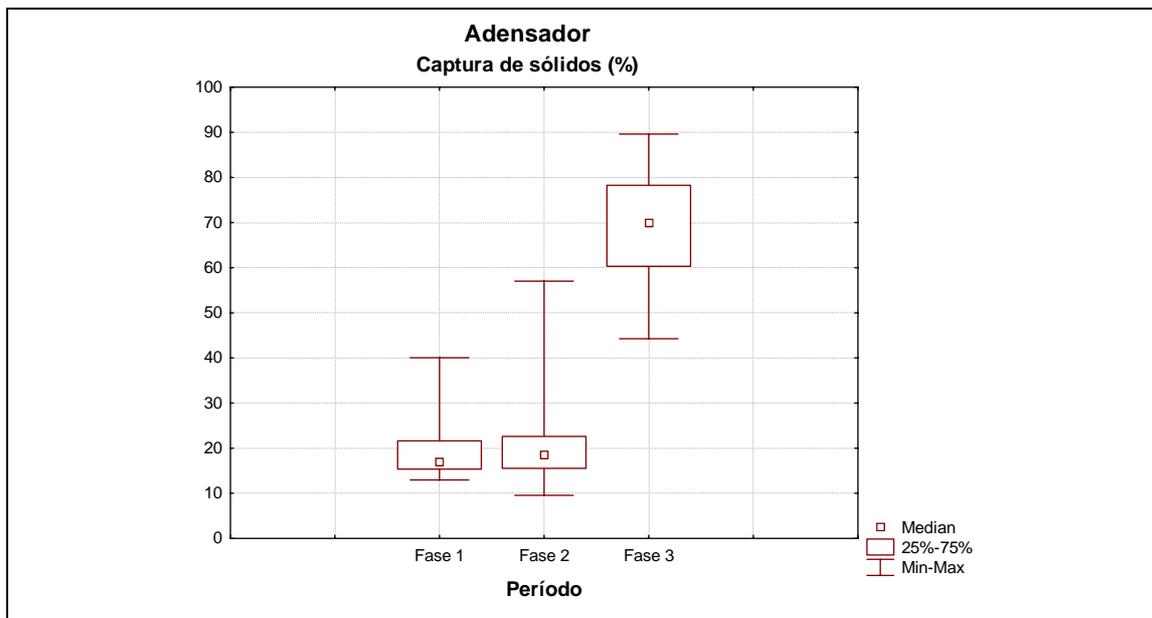


FIGURA 6.14 – Box-plot da captura de sólidos no adensador

A eficiência de captura de sólidos durante a primeira fase de operação foi determinada considerando os valores da carga de sólidos totais afluente que foi de 62.607 kg/d. A carga de sólidos afluente ao digestor foi de 11.194 kg/d.

Desta forma, captura de sólidos é: $100 (\%) \times \frac{11.194 \text{ kg} / d}{62.607 \text{ kg} / d} = 17,87 \%$

Pelas FIG. 6.13 e FIG. 6.14 observa-se que esses valores de captura de sólidos encontram –se bem abaixo dos valores da literatura. Uma das explicações investigadas é que a Estação Arrudas foi projetada para tratar o lodo misto adensado por gravidade e não apenas o primário, ficando a eficiência de captura abaixo do esperado. O tempo de detenção hidráulica nos adensadores, durante a primeira fase, foi de 49 horas, ou seja, bem elevado produzindo uma decomposição e início de fermentação no adensador. Isso ocasionou uma elevação na concentração de sólidos no líquido sobrenadante reduzindo, conseqüentemente, o processo de captura de sólidos.

Na segunda fase de investigação, a eficiência de captura de sólidos foi encontrada considerando os valores diários da carga de sólidos totais afluente ao adensador (carga de lodo primário + carga de lodo excedente). A média desses valores foi de 45.621kg/d. A carga de sólidos afluente ao digestor foi de 9.612 kg/d.

Algumas possíveis explicações para o comportamento observado estariam associadas ao fato dos adensadores por gravidade terem sido projetados para receber lodo misto e terem operado na primeira fase somente com lodo primário (vazão muito baixa) e na terceira fase com lodo excedente secundário. Mesmo na segunda fase (condição de operação de projeto) houve altos tempos de detenção hidráulica, provavelmente, por não se ter uma retirada contínua do lodo dos decantadores primários, mas somente descargas de hora em hora com o movimento das pontes raspadoras de lodo.

6.4.3 Captura de sólidos no adensador

Segundo von Sperling e Gonçalves (2001) a captura dos sólidos ou recuperação dos sólidos representa parte dos sólidos, que ao serem separados do líquido na etapa de tratamento do lodo sofrerão tratamento na etapa seguinte, enquanto o líquido sobrenadante retorna à estação, evitando seu lançamento no corpo receptor. No caso da ETE Arrudas, retorna à montante do decantador primário.

Segundo Qasim (1985 *apud* VON SPERLING; GONÇALVES, 2001) e EPA (1987) valores de captura de sólidos para o lodo primário adensado por gravidade encontram-se na faixa de 85 a 92%.

A FIG. 6.13 apresenta a série temporal da captura de sólidos no adensador por gravidade e a FIG. 6.14 apresenta o “Box-plot” da captura de sólidos nas três fases.

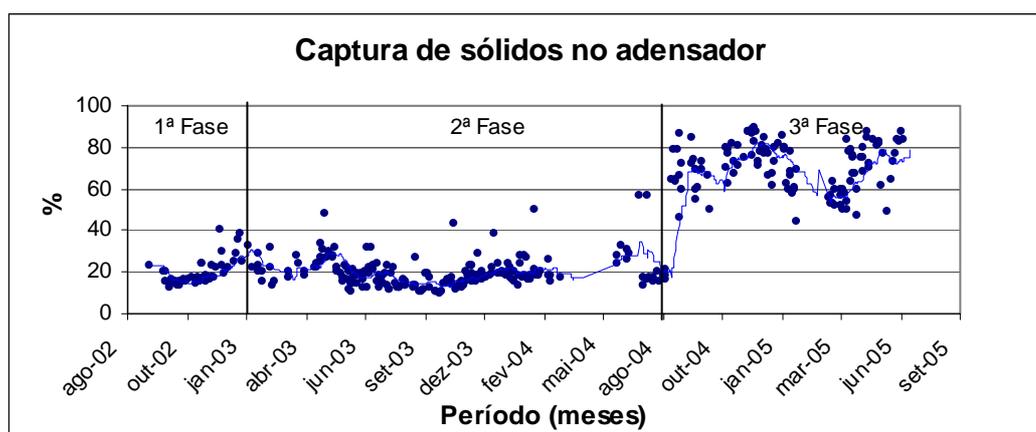


FIGURA 6.13 – Série temporal da captura de sólidos no adensador

A FIG. 6.11 apresenta a série histórica do tempo de detenção hidráulica ao longo do sistema, ao passo que a FIG. 6.12 apresenta o Box-plot do TDH nas três fases.

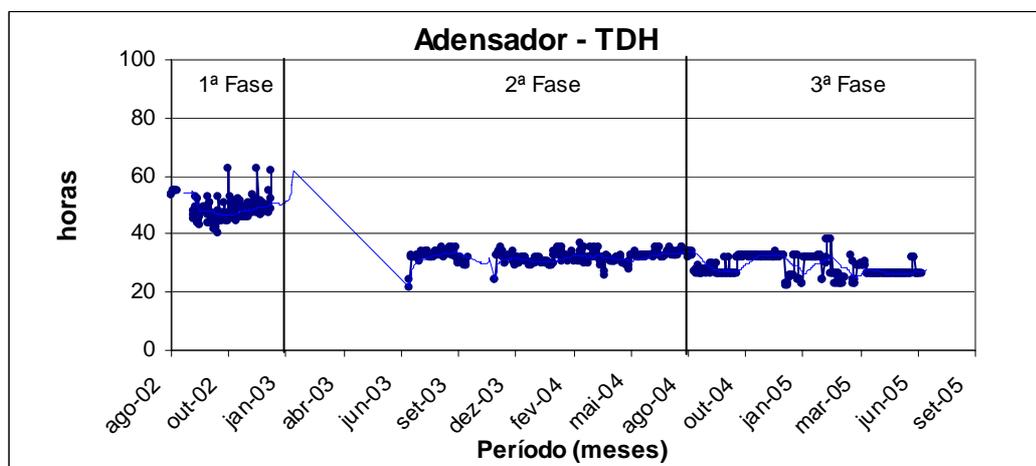


FIGURA 6.11 – Série temporal do tempo de detenção hidráulica no adensador

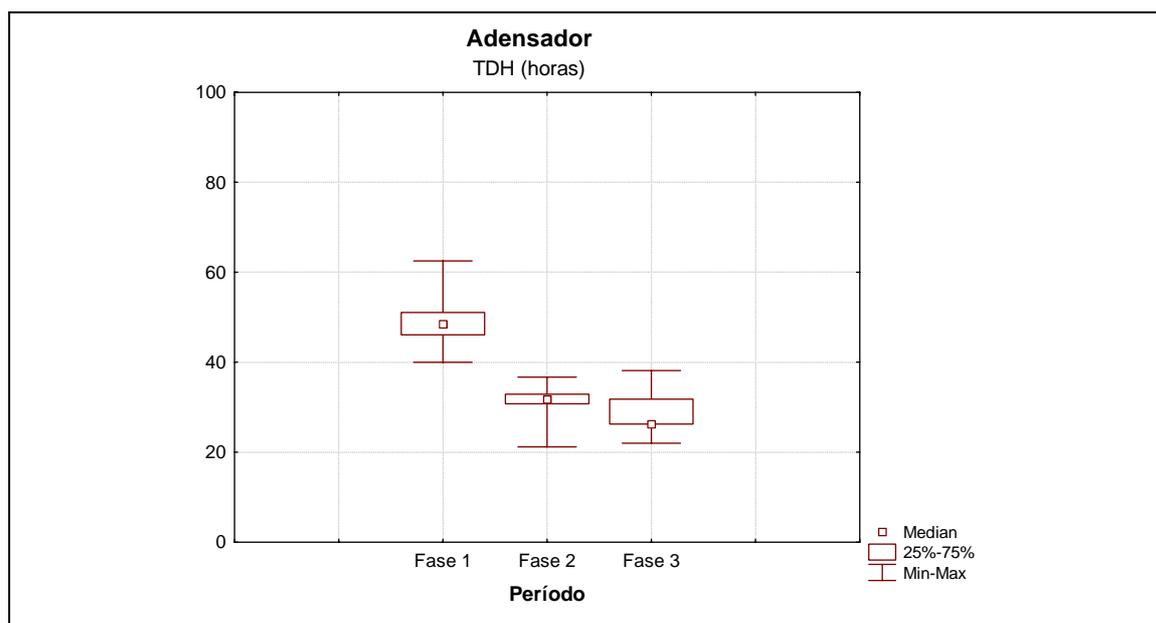


FIGURA 6.12 – Box-plot do tempo de detenção hidráulica no adensador

Pelas FIG.6.11 e FIG. 6.12 observa-se que o tempo de detenção hidráulica nos adensadores esteve sempre acima dos valores reportados na literatura que apontam para 24 horas (ABNT, 1992).

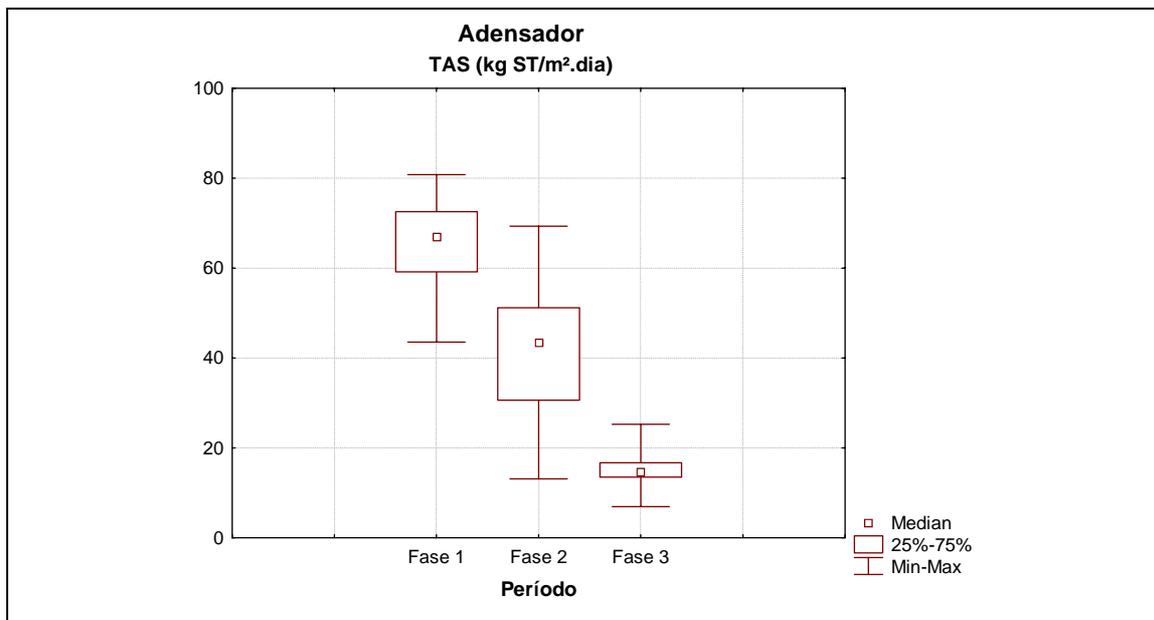


FIGURA 6.10 – Box-plot da taxa de aplicação de sólidos no adensador

Pelas FIG. 6.9 e FIG. 6.10, nota-se que o valor médio da TAS durante a primeira fase está de acordo com os valores da ABNT (1992), onde é citado que os valores máximos para adensamento por gravidade para lodo primário devem estar abaixo de 150 kgST/m².d.

Durante a segunda fase, a taxa de aplicação superficial de sólidos resultante foi de 46 kgST/m².d. Segundo Jordão e Pessoa (2005), os valores da TAS para lodo misto devem estar entre 40 a 50 kgSS/m².d. A NBR 12209 (1992), por sua vez, especifica como valores máximos 50 kg ST/m².d. O resultado encontrado na ETE Arrudas está de acordo com os valores pesquisados.

Na terceira fase a carga de sólidos no lodo afluente ao adensador é a correspondente à carga de lodo excedente (média= 18.496 Kg/d). A taxa de aplicação superficial de sólidos (TAS) resultante foi de: 19 KgST/m².d. Os valores da TAS para lodo ativado convencional deveriam ser < 30 kgSST/m².d conforme valores de projeto descritos no item 3.2.1.2 da revisão de literatura.

6.4.2 Tempo de detenção hidráulica no adensador

O tempo de detenção hidráulica médio resultante foi de 49 horas, 28 horas e 26 horas para a primeira, segunda e terceira fase, respectivamente.

6.4 Avaliação do comportamento dos adensadores

A avaliação do desempenho dos adensadores de lodo foi realizada através de cálculos das taxas de parâmetros operacionais e relações entre variáveis.

6.4.1 Taxa de aplicação de sólidos

Segundo a ABNT (1992), a taxa de aplicação de sólidos – TAS, é a relação entre a massa de sólidos em suspensão introduzida numa unidade de tratamento e a área sobre a qual é aplicada, por unidade de tempo.

Com base nas fichas diárias de anotação do laboratório, conhecendo a concentração de sólidos e a vazão afluyente diária aos adensadores, foram determinados os valores das taxas correspondentes às fases operacionais. Durante todas as fases estavam operando dois adensadores. A área total = 982 m².

A FIG. 6.9 apresenta a série temporal da taxa de aplicação de sólidos ao longo do sistema, ao passo que a FIG. 6.10 apresenta o “Box-plot” da TAS nas três fases.

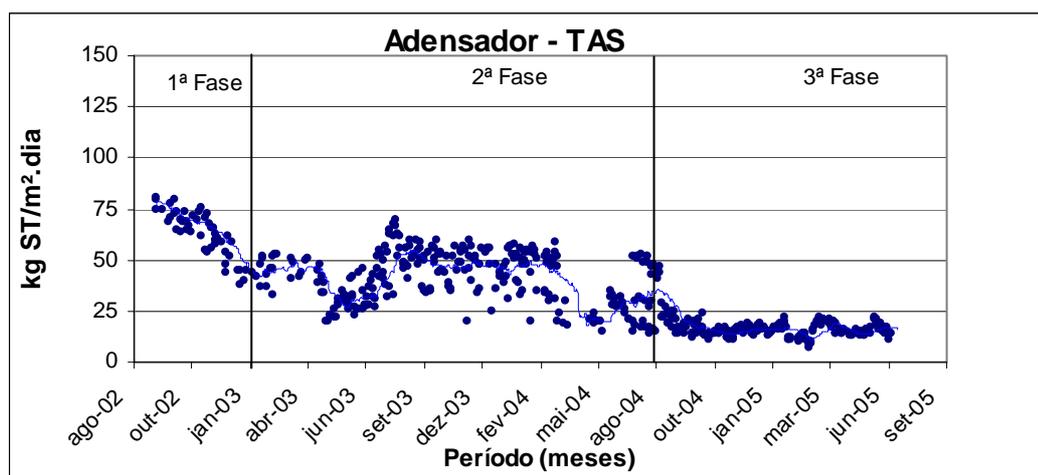


FIGURA 6.9 – Série temporal da taxa de aplicação de sólidos no adensador

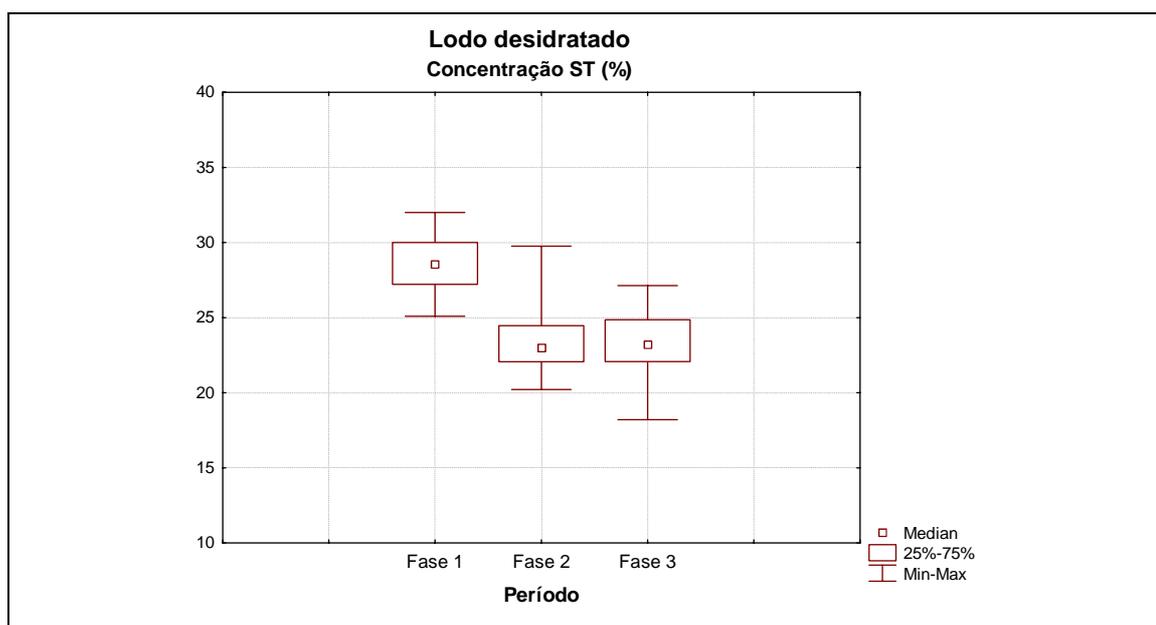


FIGURA 6.8 – Box-plot das concentrações de sólidos totais na unidade da desidratação

Pelas FIG. 6.7 e FIG. 6.8 observa-se que a média diária da concentração de sólidos totais no lodo desidratado esteve sempre maior que 20%. Os valores encontrados estão dentro das faixas consideradas usuais pela literatura. Jordão e Pessoa (2005) apresentam os seguintes valores de desidratação por centrífuga: torta seca em torno de 25 a 35% de sólidos (65 a 75% de umidade).

Na primeira fase o valor médio de desidratação foi de 28,2%. Durante a segunda fase o teor de sólidos totais no lodo desidratado na ETE Arrudas variou de 20,2 a 29,8%; apresentando uma média de 23,4%. O teor de sólidos totais no lodo desidratado na ETE Arrudas, durante a terceira fase, apresentou uma média de 23,17%. Os valores tendem a revelar o desempenho satisfatório da centrífuga no que se refere à remoção de água.

Pelos resultados das concentrações dos sólidos totais no lodo digerido, verifica-se que quando a concentração dos mesmos na primeira fase era maior que na segunda e na terceira fases, o lodo desidratado apresentou uma torta com concentração média de 28,21%. Isso tende a confirmar que a maior eficiência dos equipamentos de desidratação acontece quando desidratam somente o lodo primário digerido anaerobicamente, quando comparado com a desidratação do lodo misto digerido.

No entanto, mesmo apresentando esses resultados, os digestores conseguiram manter sua eficiência.

Von Sperling e Gonçalves (2001) apontam como valores usuais para teor de sólidos secos de 4 a 8% para lodo primário digerido e valores de 3 a 6% para o lodo misto digerido. Para efeito de resultado da segunda fase de operação foram considerados valores médios dos lodos digeridos para cada digestor e foi encontrada uma média de 1,97% de ST e 1,19% de STV.

Observa-se, na terceira fase, que a concentração de ST no digestor variou de 1,06 a 2,14% e os valores de STV variaram de 0,67 a 1,39%. Os valores obtidos em termos de concentração estão abaixo das faixas usuais citadas por Von Sperling e Gonçalves (2001). Todavia, os valores de sólidos totais voláteis em relação aos sólidos totais encontram-se na faixa normal de operação. Na terceira fase, em virtude da baixa concentração do lodo secundário excedente nos adensadores, o volume de lodo enviado aos digestores foi elevado quando comparado com as outras duas fases, acarretando uma queda no tempo de detenção hidráulica.

6.3.4 Distribuição das concentrações dos sólidos na desidratação do lodo

A FIG. 6.7 apresenta a série temporal da concentração de sólidos ao longo do sistema, ao passo que a FIG. 6.8 apresenta o Box-plot das concentrações nas três fases.

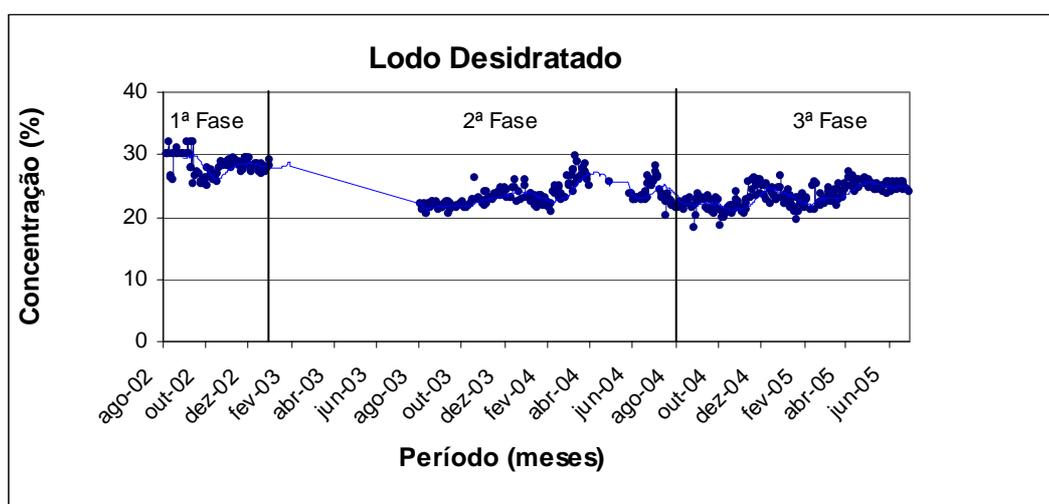


FIGURA 6.7 – Série temporal das concentrações dos sólidos totais obtidas no lodo desidratado

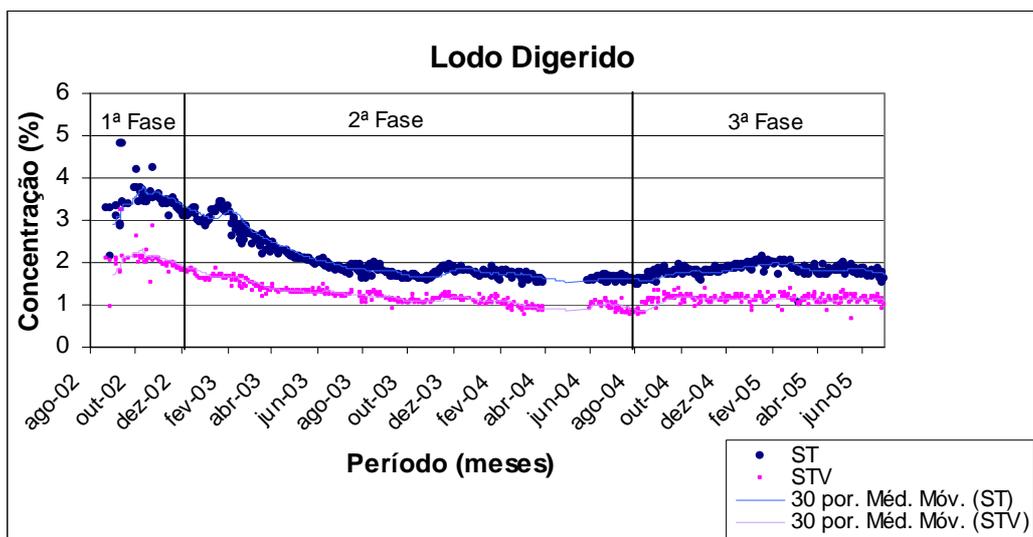


FIGURA 6.5 – Série temporal das concentrações dos sólidos totais e sólidos totais voláteis obtidas no digestor

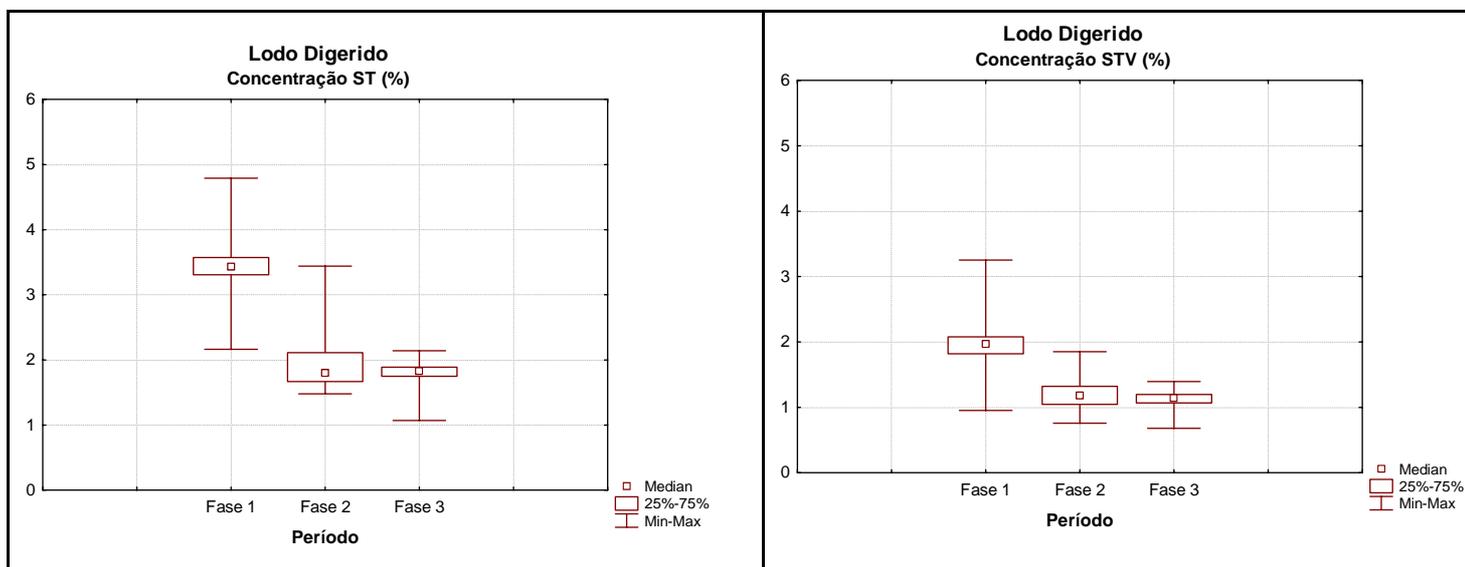


FIGURA 6.6 – Box-plot das concentrações de ST e STV no lodo digerido

Pelas FIG. 6.5 e FIG. 6.6 observa-se que a média da concentração de sólidos totais nos digestores primários, na primeira fase, foi de 3,41% e a média da concentração de STV apresentou-se em torno de 2%. O teor de sólidos totais no digestor primário variou de 2,16 a 4,97% na primeira fase, quando recebia somente lodo primário adensado.

Durante a segunda fase de operação a concentração de ST apresentou-se na faixa de 1,48 a 3,44% (média ST= 1,97%) e STV variou de 0,76 a 1,85%. São valores abaixo da literatura.

O teor de sólidos totais no lodo adensado tratando apenas lodo primário varia de 5 a 10%. (JORDÃO; PESSOA, 2005). A concentração média de sólidos obtida no adensador da ETE Arrudas, durante a primeira fase, foi de 4,78%, que é um valor baixo quando comparado com a literatura clássica. Isso acontece, provavelmente, porque a Estação foi projetada para concentrar o lodo misto (primário + secundário) e não o lodo primário apenas. Somente o lodo primário fez com que o TDH no adensador ficasse elevado acarretando um processo de fermentação com flotação de parte dos sólidos.

O teor de sólidos no lodo adensado tratando lodo misto apresentou uma média na concentração de ST de 2,7%. De acordo com a revisão bibliográfica, esse teor de sólidos poderia atingir concentrações próximas de 4 a 8%. Foi observada uma concentração, expressivamente, menor do que a prevista, quando se operou com lodo misto nos adensadores por gravidade. Tal fato tende a ser explicado pela retirada, em batelada, do lodo primário nos decantadores retangulares quando comparado com a retirada contínua dos decantadores primários circulares. Quando a vazão de lodo primário era bombeada, de hora em hora, o lodo adensado era revolvido ocorrendo uma perda de sólidos no líquido sobrenadante.

O teor de sólidos no lodo adensado tratando lodo secundário excedente (terceira fase) apresentou uma variação da concentração de sólidos totais (ST) de 0,95 a 3,5% (média= 1,71%). O valor típico esperado seria de 2 a 3% (WEF, 1992). Nota-se que o resultado encontrado está abaixo do reportado pela literatura. Essa situação, provavelmente, se deve ao fato do atual adensador por gravidade não ter sido projetado para receber somente lodo excedente secundário e sim, lodo misto.

6.3.3 Distribuição das concentrações dos sólidos nos digestores

A FIG. 6.5 apresenta a série histórica da concentração de sólidos ao longo do sistema e a FIG. 6.6 apresenta o “Box –plot” das concentrações nas três fases.

6.3.2 Distribuição das concentrações dos sólidos no adensador por gravidade

A concentração de sólidos variou expressivamente quanto ao comportamento do adensador de lodo recebendo lodos do decantador primário (primeira fase), lodo misto (segunda fase) e lodo excedente (terceira fase).

A FIG. 6.3 apresenta a série histórica da concentração de sólidos ao longo do sistema, ao passo que a FIG. 6.4 apresenta o Box plot das concentrações nas três fases.

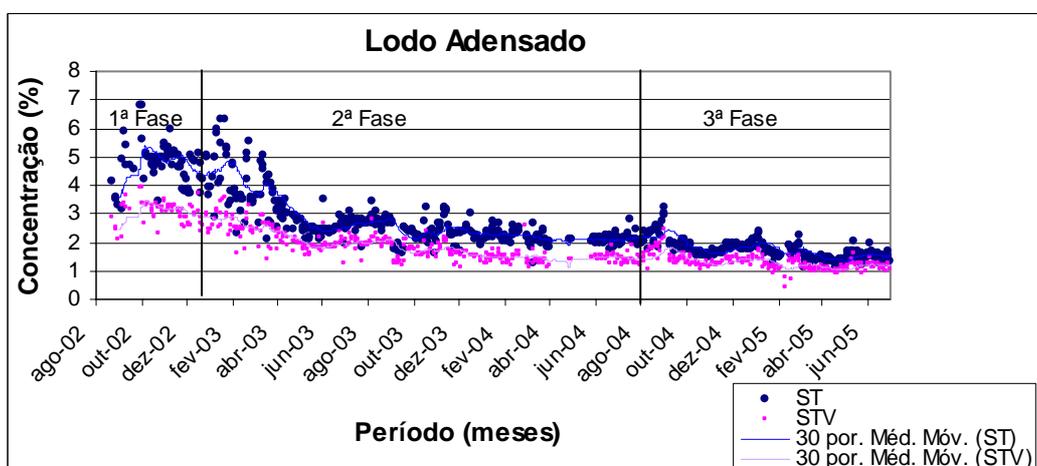


FIGURA 6.3 – Série temporal das concentrações dos sólidos totais e sólidos totais voláteis obtidas no adensador

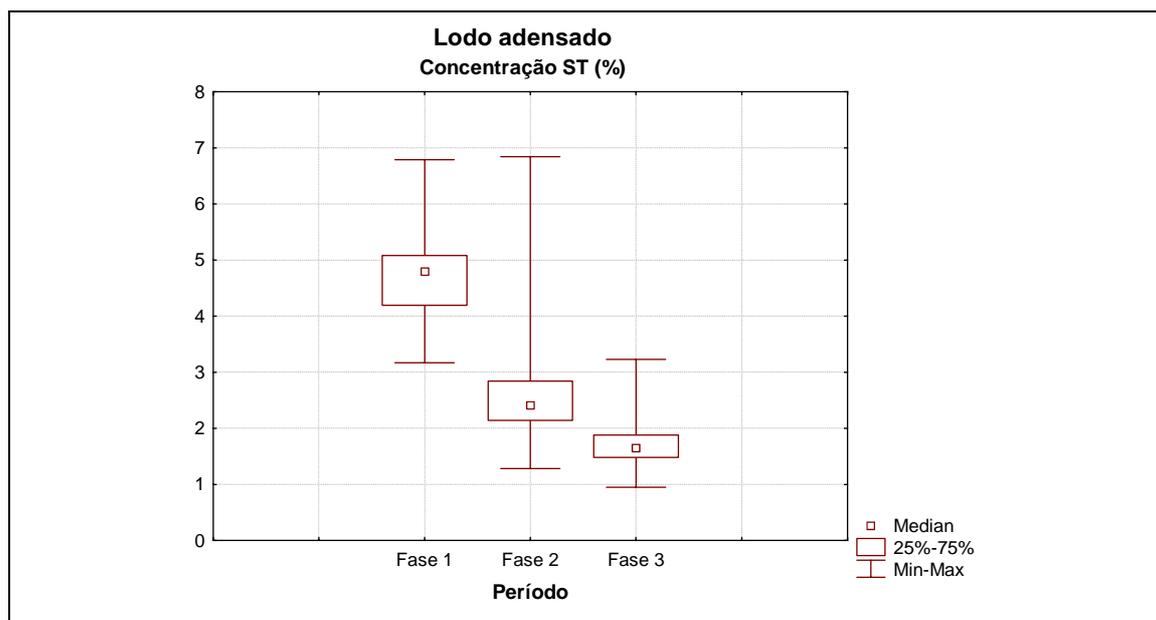


FIGURA 6.4 – Box-plot das concentrações de ST no lodo adensado

A FIG. 6.2 apresenta as concentrações dos sólidos plotadas em gráfico “Box- Whisker” para permitir uma visualização mais clara entre as três fases do período investigado. Nos gráficos são apresentados os valores máximos e mínimos, a mediana e os percentis de 25 e 75%.

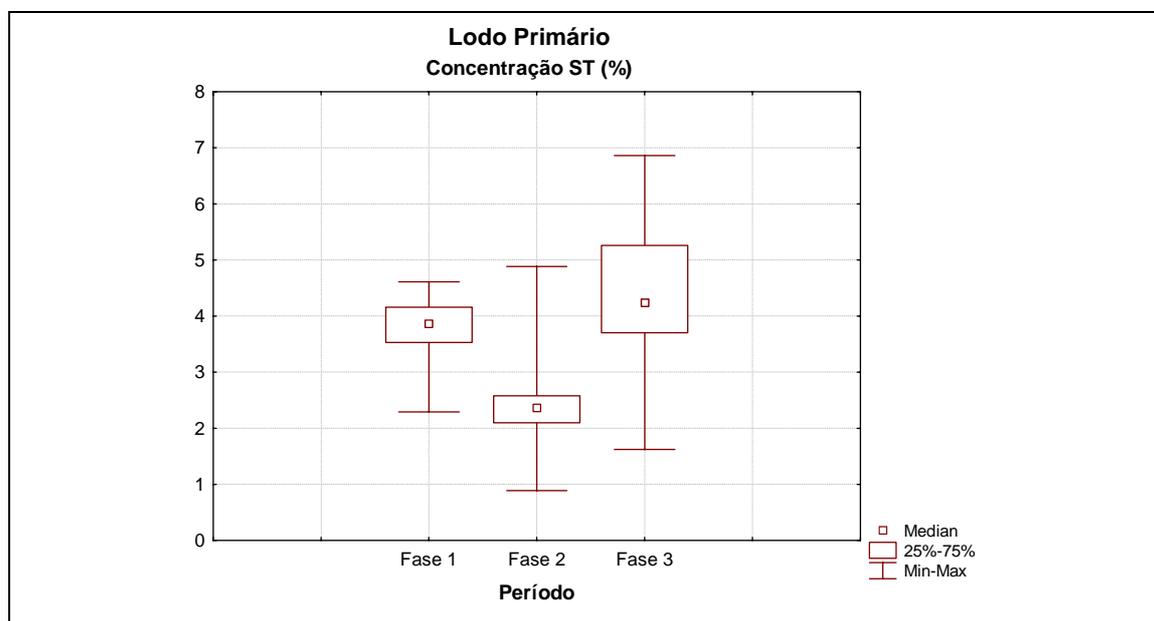


FIGURA 6.2 – Box-plot das concentrações de ST no lodo primário

Pelas FIG.6.1 e FIG. 6.2 observa-se que, na primeira fase, o teor de sólidos totais no lodo primário variou de 2,30 a 4,77%. Esses resultados demonstram uma característica típica do lodo primário. De acordo com Andreoli, von Sperling e Fernandes (2001), essa variação é assumida com valores próximos de 2 a 6%. O valor médio do teor de sólidos encontrado na ETE durante a primeira fase foi de 3,72%.

Durante a segunda fase a média das concentrações de sólidos totais (ST) esteve em torno de 2,43% o que demonstra que estão dentro dos valores usuais da literatura.

Na terceira fase, a faixa de variação das concentrações de sólidos totais (ST) do lodo adensado, no próprio decantador primário, foi de 1,62 a 6,82 % (média de ST= 4,38%). Considerando o valor médio calculado do teor de sólidos totais observa-se que os mesmos estão dentro dos valores da literatura, evidenciando o comportamento satisfatório do decantador primário funcionando como adensador de lodo. Metcalf & Eddy, Inc. (2003) aponta valores estimados de 4 a 12% para concentração de sólidos totais, quando adensados no próprios decantadores primários retangulares.

TABELA 6.5

Variáveis operacionais da desidratação de lodo da ETE Arrudas

Variável	Estatística	Período		
		1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase
Concentração de lodo afluente (%)	Nº dados válidos	-	195	209
	Média	-	3,06	2,56
	Mínimo/Máximo	-	0,29/4,99	1,56/1,81
	Mediana	-	2,90	2,41
	Desvio padrão	-	0,61	0,45
% de captura	Nº dados válidos	-	53	129
	Média	-	77	75
	Mínimo/Máximo	-	31/98	21/99
	Mediana	-	77	64
	Desvio padrão	-	17	18
Lodo Desidratado	Nº dados válidos	103	187	204
	Média	28,21	23,41	23,17
	Mínimo/ Máximo	25,10/32,00	20,21/29,76	18,20/27,13
	Mediana	28,28	22,98	23,23
	Desvio padrão	1,62	1,87	1,76

6.3 Concentrações de sólidos ao longo do sistema

Conforme descrito no item 5.3, somente aquelas unidades constituintes do processamento do lodo foram objeto de análise aprofundada dessa dissertação. O decantador primário foi estudado, apenas, no que se refere à produção do lodo primário.

6.3.1 Distribuição das concentrações dos sólidos no decantador primário

A FIG. 6.1 mostra a série temporal das concentrações dos sólidos totais encontrados no lodo primário nas três fases de análise.

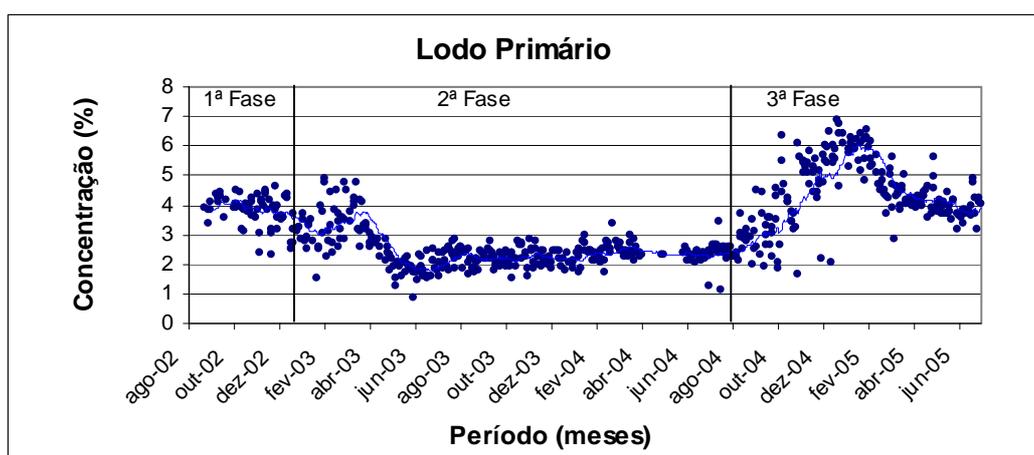


FIGURA 6.1 – Série temporal das concentrações dos sólidos totais obtidos no lodo primário

TABELA 6.3

Variáveis operacionais do adensador de lodo da ETE Arrudas

Variável	Estatística	Período		
		1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase
Tempo de detenção hidráulica (horas)	Nº dados válidos	123	542	314
	Média	49	28	26
	Mínimo/Máximo	40/63	21/37	23/38
	Mediana	48	32	28
	Desvio padrão	4	2	3
Taxa de aplicação sólidos (kg/m².dia)	Nº dados válidos	45	288	200
	Média	64	46	19
	Mínimo/Máximo	44/81	14/69	7/25
	Mediana	67	44	15
	Desvio padrão	9	12	3
Captura de sólidos (%)	Nº dados válidos	39	200	122
	Média	18	21	66
	Mínimo/Máximo	13/40	10/57	44/91
	Mediana	17	18	72
	Desvio padrão	5	9	11

TABELA 6.4

Variáveis operacionais do digestor de lodo da ETE Arrudas

Variável	Estatística	Período		
		1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase
Tempo de detenção hidráulica (dias)	Nº dados válidos	121	562	321
	Média	35	47	22
	Mínimo/Máximo	23/62	27/85	17/43
	Mediana	33	42	23
	Desvio padrão	5	15	3
Carga orgânica volumétrica (kg/m³.d)	Nº dados válidos	58	324	206
	Média	0,9	0,32	0,9
	Mínimo/Máximo	0,6/1,3	0,1/0,6	0,5/1,3
	Mediana	0,8	0,3	0,9
	Desvio padrão	0,1	0,1	0,2
% de remoção de STV (%)	Nº dados válidos	53	303	185
	Média	37	36	43
	Mínimo/Máximo	22/46	12/59	29/76
	Mediana	36	35	43
	Desvio padrão	5	9	7
Relação SV/ST	Nº dados válidos	72	334	207
	Média	0,58	0,61	0,62
	Mínimo/Máximo	0,42/0,68	0,48/0,77	0,37/0,79
	Mediana	0,58	0,62	0,62
	Desvio padrão	0,04	0,06	0,05
Relação acidez/alcalinidade	Nº dados válidos	-	283	208
	Média	-	0,07	0,07
	Mínimo/Máximo	-	0,01/0,4	0,01/0,13
	Mediana	-	0,06	0,07
	Desvio padrão	-	0,02	0,01
pH	Nº dados válidos	83	343	211
	Média	7,5	7,2	7,1
	Mínimo/Máximo	7,2/7,9	6,9/7,7	6,9/7,3
	Mediana	7,5	7,1	7,1
	Desvio padrão	0,1	0,2	0,1

Nota: Não apresentou valores de acidez/alcalinidade na primeira fase de operação.

TABELA 6.2

Estatísticas básicas referentes aos parâmetros da fase sólida da ETE Arrudas

Local	Parâmetros	Estatística	Período		
			1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase
Lodo Primário	ST (%)	Nº dados válidos	73	339	212
		Média	3,72	2,43	4,38
		Mínimo/ Máximo	2,30/4,77	0,70/4,98	1,62/6,82
		Mediana	3,86	2,37	4,23
		Desvio padrão	0,54	0,66	1,12
Lodo Adensado	ST (%)	Nº dados válidos	73	336	212
		Média	4,78	2,70	1,71
		Mínimo/ Máximo	3,16/6,78	1,28/6,8	0,95/3,50
		Mediana	4,79	2,41	1,65
		Desvio padrão	0,75	0,86	0,37
	STV (%)	Nº dados válidos	73	336	212
		Média	3,04	1,84	1,28
		Mínimo/ Máximo	2,08/3,94	1,09/3,60	0,45/2,45
		Mediana	2,64	1,77	1,24
		Desvio padrão	0,40	0,48	0,26
Lodo Secundário Excedente Recirculado	SST (%)	Nº dados válidos	-	291	212
		Média	-	0,70	0,59
		Mínimo/ Máximo	-	0,22/1,32	0,27/0,84
		Mediana	-	0,69	0,60
		Desvio padrão	-	0,17	0,10
Lodo Digerido	ST (%)	Nº dados válidos	71	341	212
		Média	3,41	1,97	1,82
		Mínimo/ Máximo	2,16/4,97	1,48/3,44	1,06/2,14
		Mediana	3,40	1,79	1,82
		Desvio padrão	0,38	0,46	0,13
	STV (%)	Nº dados válidos	72	334	207
		Média	2,00	1,19	1,13
		Mínimo/ Máximo	0,95/3,25	0,76/1,85	0,67/1,39
		Mediana	1,97	1,17	1,14
		Desvio padrão	0,32	0,23	0,10
Lodo Desidratado	ST (%)	Nº dados válidos	103	187	204
		Média	28,21	23,41	23,17
		Mínimo/ Máximo	25,10/32,00	20,21/29,76	18,20/27,13
		Mediana	28,28	22,98	23,23
		Desvio padrão	1,62	1,87	1,76

As TAB. 6.3 6.4 e 6.5 resumem as variáveis operacionais calculadas do adensador por gravidade, digestor e desidratação, respectivamente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentam-se face às fases operacionais estudadas. Foi avaliado o comportamento das unidades geradoras de lodo e parâmetros de influência. Finalmente, foi realizado para as três fases o balanço de massa do sistema.

6.1 *Introdução*

Desde o início da operação, a ETE Arrudas passou por três fases distintas, em termos operacionais no que se refere ao adensamento do lodo primário e lodo secundário. Essas três fases encontram-se indicadas no item 5.4 na TAB. 5.2 .

6.2 *Estatísticas descritivas*

A TAB. 6.1 apresenta as variações de vazões afluentes à ETE Arrudas no período investigado.

TABELA 6.1
Variações das vazões afluentes à ETE Arrudas

Variável	Estatística	Período		
		1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase
Vazão afluente à ETE (m ³ /s)	Média	1,10	1,21	1,33
	Mínimo	0,41	0,62	0,58
	Máximo	2,02	1,86	2,18

A TAB.6.2 resume as estatísticas básicas referentes às três fases de investigação do tratamento do lodo da ETE Arrudas.

5.5 *Etapas da metodologia*

A metodologia compreendeu várias etapas que foram cumpridas seqüencial ou concomitantemente:

- a) estudos quantitativos dos lodos em cada uma das fases de tratamento;
- b) balanços de massa no sistema da fase sólida, computando as cargas de sólidos no lodo e nos líquidos drenados (retornados à estação);
- c) elaboração de gráficos e curvas dos diversos parâmetros operacionais para permitir a análise das variáveis, tais com: gráficos de séries temporais, gráficos “Box-Plot” e gráficos de correlações entre variáveis, de modo a se ter o comportamento das unidades e a distribuição dos diversos valores;
- d) visitas periódicas à ETE Arrudas, consulta aos dados existentes nos acervos operacionais da mesma e reuniões com a equipe da COPASA.

5.4.3 Terceira fase

Pelas FIG. 5.6 e FIG. 5.7 observa-se o *layout* operacional e o fluxo de lodos da terceira fase de tratamento da Estação. Nesse período, o lodo primário era adensado no próprio decantador primário e o lodo secundário concentrado no adensador por gravidade. Ambos eram estabilizados no digestor. A desidratação do lodo digerido era efetuada pelas centrifugas.

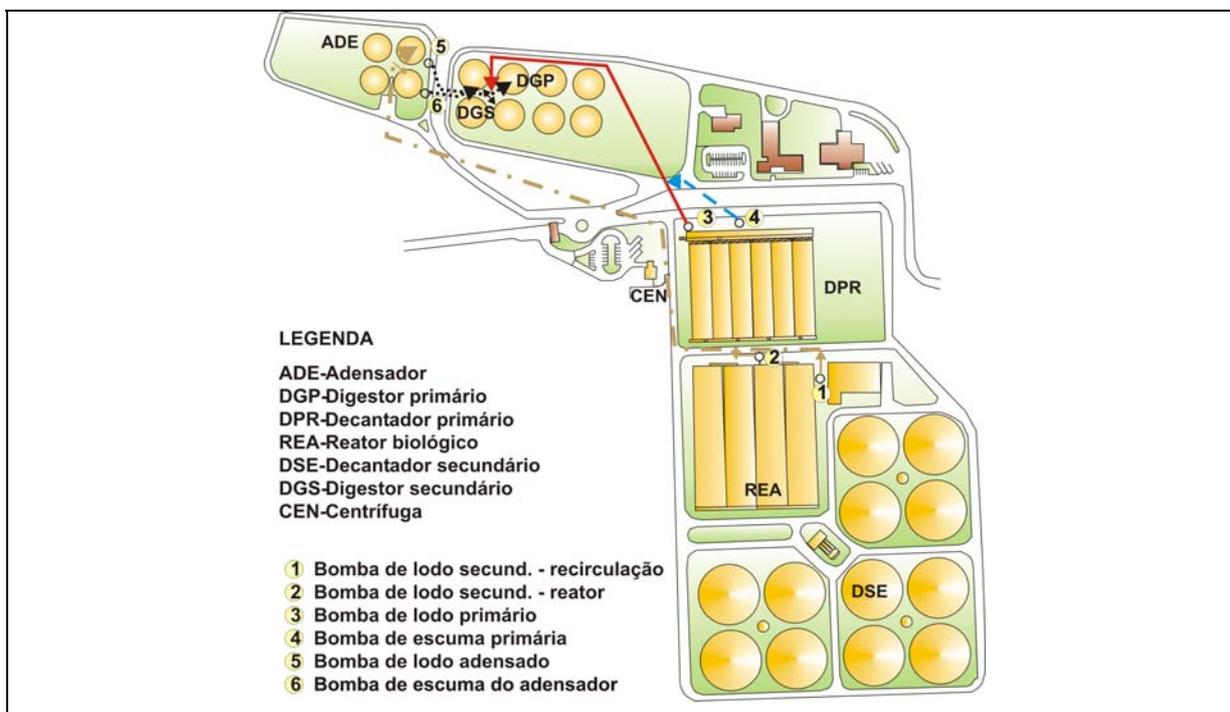


FIGURA 5.6 – Terceira fase operacional – Lodo primário bombeado direto para os digestores e lodo excedente adensado – Agosto de 2004 a Junho de 2005

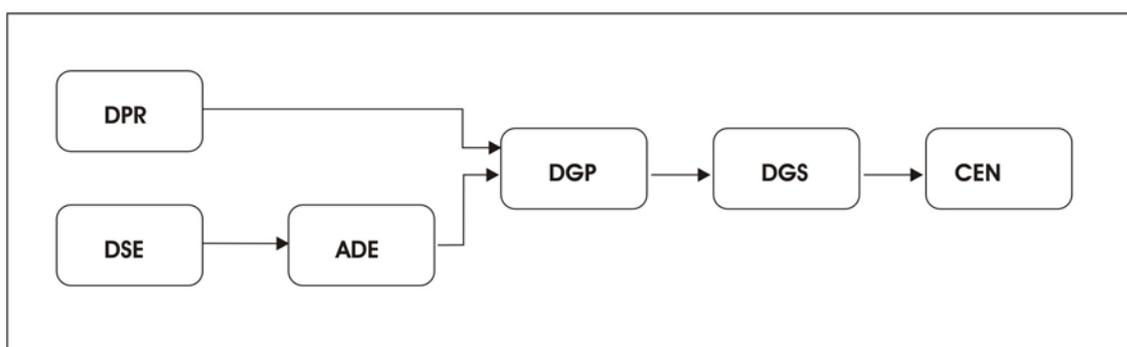


FIGURA 5.7 – Fluxo de lodos da terceira fase operacional

5.4.2 Segunda fase

As FIG. 5.4 e FIG. 5.5 apresentam o *layout* operacional e o fluxo de lodos da segunda fase de tratamento da Estação. Nessa época, o lodo primário produzido no decantador primário e o lodo secundário que se formava no reator biológico e sedimentava no decantador secundário se juntavam para formar o lodo misto que era concentrado no adensador por gravidade. Então, eram enviados para o digestor primário, onde ocorria a estabilização. O condicionamento era feito por polímero catiônico e a desidratação era realizada pela centrífuga (desidratação mecânica).

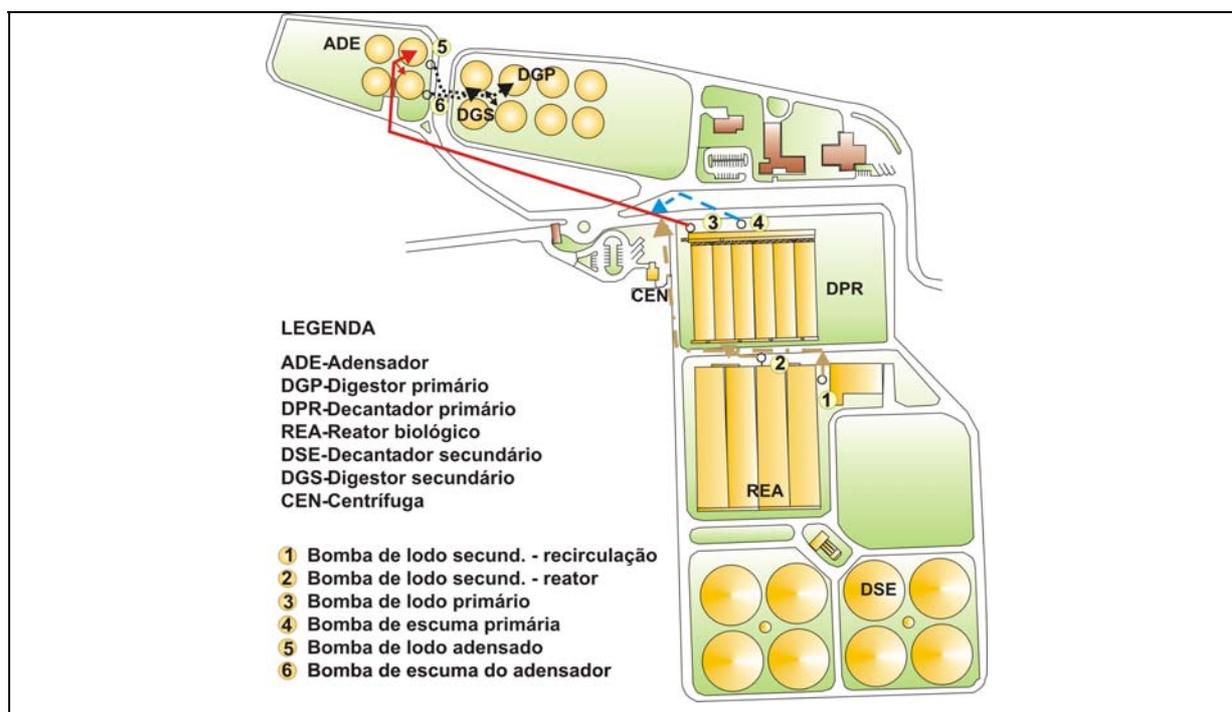


FIGURA 5.4 – Segunda fase operacional– Lodo primário e secundário: lodo misto adensado
– Janeiro de 2003 a Agosto de 2004.

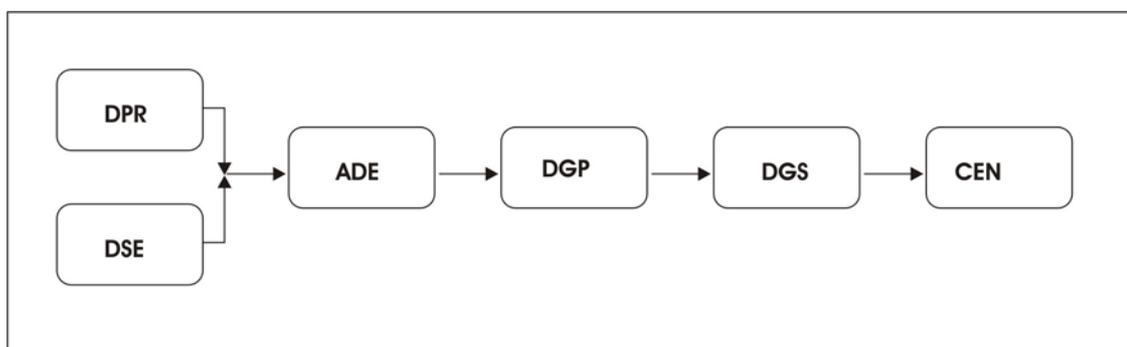


FIGURA 5.5 – Fluxo de lodos da segunda fase operacional

5.4.1 Primeira fase

As FIG. 5.2 e FIG. 5.3 apresentam, respectivamente, o *layout* operacional e o fluxo de lodos da primeira fase de tratamento. Nesse período, existia apenas o tratamento primário. O lodo primário era concentrado no adensador por gravidade e enviado para o digestor anaeróbio onde era estabilizado.

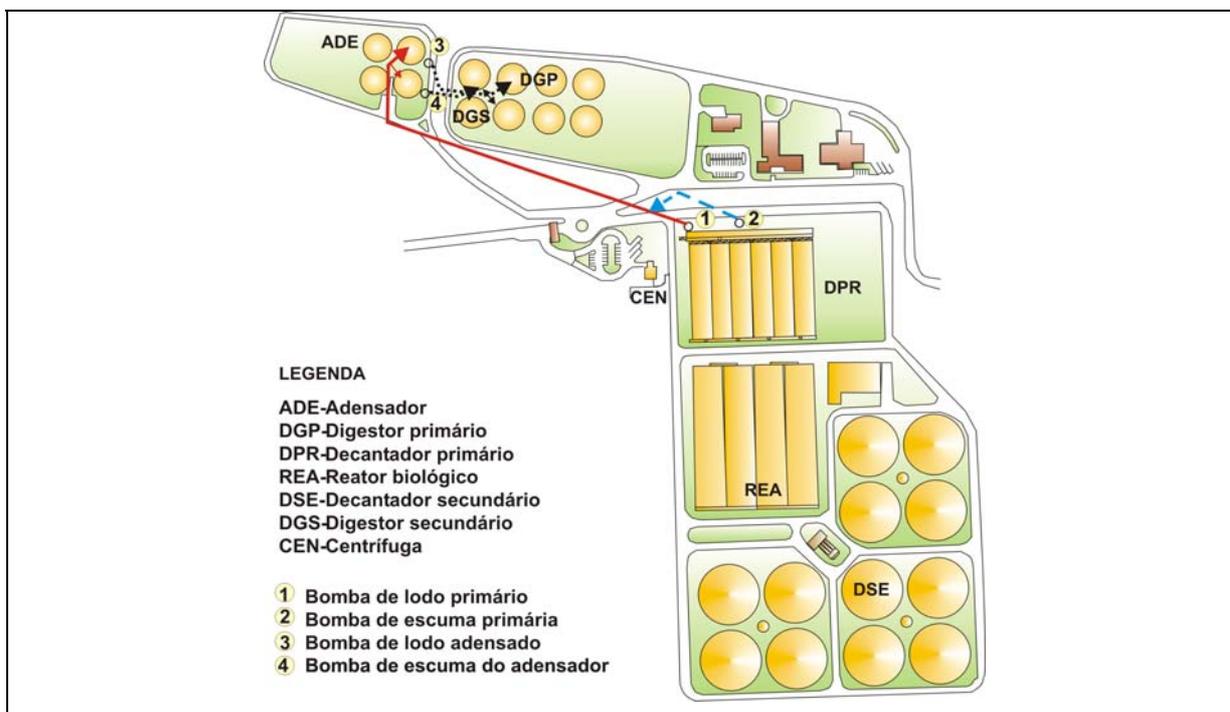


FIGURA 5.2 – Primeira fase operacional – Somente tratamento primário: lodo primário adensado: Agosto 2002 a Dezembro de 2002 (dados existentes)

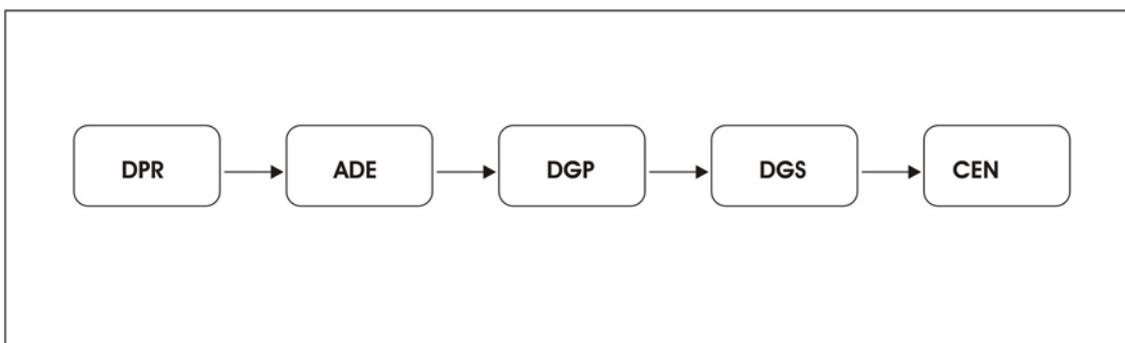


FIGURA 5.3 – Fluxo de lodos da primeira fase operacional

5.4 Fases operacionais no tratamento do lodo

A partir dos dados digitados nas planilhas, foram investigadas as condições de funcionamento da ETE e as modificações operacionais realizadas desde o início de sua implantação.

Desde o início de operação a ETE passou por três fases distintas quanto ao adensamento do lodo. A TAB.5.2 apresenta as três fases de produção de lodo.

TABELA 5.2
Três fases de adensamento da ETE Arrudas

Fases	Período	Condições operacionais	Características
1 ^a	18 Out 2001 a 31 Dez 2002	Tratamento primário	“Start up” da ETE Lodo primário concentrado nos adensadores por gravidade.
2 ^a	1 Jan 2003 a 9 Ago 2004	Tratamento secundário	Condições de projeto Lodo misto concentrado nos adensadores por gravidade e bombeado para os digestores.
3 ^a	10 Ago 2004 a 30 Jun 2005	Tratamento secundário	Alteração nas linhas de adensamento Lodo primário concentrado no próprio decantador e bombeado para os digetores. Lodo secundário excedente concentrado nos adensadores por gravidade e bombeado para os digetores.

5.3.3 Centrífuga

A desidratação do lodo da ETE Arrudas foi avaliada verificando-se as seguintes determinações: sólidos totais, umidade, volume bombeado, produção diária do torta desidratado e consumo de polímero/t sólidos secos. Equações básicas:

- a) captura de sólidos pela centrífuga

$$\text{captura de sólidos (\%)} = \frac{(\text{carga afluyente (kg ST)} - \text{carga efluente (kg ST)}) \times 100}{\text{carga afluyente (kgST)}} \quad (5.8)$$

- b) volume diário de lodo desidratado (m³/d)

o volume diário foi encontrado através da quantidade de caçambas alimentada pela centrífuga durante o dia;

- c) Concentração da torta desidratada (% ST);

- d) Porcentagem de umidade da torta

$$\text{Porcentagem de umidade da torta (\%)} = 100 - \text{concentração do lodo (\%)} \quad (5.9)$$

- e) Concentração do líquido drenado (mg/L de ST);

- f) Vazão do drenado

para simplicidade e segurança, desprezando a evaporação:

$$\text{vazão drenado (m}^3 / \text{d)} = \text{vazão lodo afluyente (m}^3 / \text{d)} - \text{volume lodo desidratado (m}^3 / \text{d)} \quad (5.10)$$

d) características do líquido sobrenadante

- $vazão(m^3 / d) = vazão\ lodo\ afluente (m^3 / d) - vazão\ lodo\ bombeado\ aos\ digestores (m^3 / d)$ (5.4)
- carga de sólidos retornada ao processo (kgST/d).

5.3.2 Digestor de lodo

Para se avaliar o desempenho dos digestores anaeróbios foram verificados: pH, ácidos voláteis, alcalinidade total. Além disso, foram analisados tempo de detenção, carga orgânica volumétrica, remoção de sólidos voláteis e relação acidez volátil/alcalinidade total. Foram utilizadas as seguintes equações básicas:

a) tempo de detenção

$$TDH (dias) = \frac{V (m^3)}{vazão\ afluente (m^3 / d)} \quad (5.5)$$

b) carga de STV afluente

carga de STV afluente (kgSTV/d) = lodo primário adensado, lodo misto adensado, lodo excedente adensado, de acordo com cada uma das fases;

c) carga orgânica volumétrica

$$COV (kg\ STV / m^3 .d) = \frac{c\ arg\ a\ STV\ afluente (kg / d)}{V\ total (m^3)} \quad (5.6)$$

d) remoção de sólidos voláteis

$$remoção\ de\ sólidos\ voláteis\ (%) = \frac{c\ arg\ a\ STV\ lodo\ afluente (kg / d) - c\ arg\ a\ STV\ lodo\ efluente (kg / d) \times 100}{c\ arg\ a\ STV\ lodo\ afluente (kg / d)} \quad (5.7)$$

e) relação STV/ST no afluente e no efluente (kgSTV/kgST);

f) relação acidez volátil/alcalinidade total (mg/L/mg/L).

5.3 **Levantamento e verificação dos dados**

A partir dos dados fornecidos pela COPASA foram analisados os sólidos gerados nas seguintes unidades: decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário. O presente trabalho enfatizou, principalmente, as fases de adensamento, digestão e desidratação do lodo.

5.3.1 **Adensador de lodo**

A avaliação de desempenho dos adensadores de lodo foi feita em função da porcentagem de retenção de sólidos pelos adensadores e pelo teor de sólidos do lodo adensado. Foram analisados o teor de sólidos totais, sólidos voláteis e sólidos fixos no lodo. Além disso, foram avaliados a captura de sólidos, a taxa de aplicação superficial de sólidos e o volume de lodo adensado bombeado diretamente para os digestores. Foram utilizadas as seguintes equações básicas:

a) captura de sólidos

$$\text{captura de sólidos (\%)} = \frac{(\text{sólidos afluentes (kg/d)} - \text{sólidos efluentes no sobrenadante (kg/d)}) \times 100}{\text{sólidos afluentes (kg/d)}} \quad (5.1)$$

b) taxa de aplicação de sólidos resultante

$$TAS \text{ (kg/m}^2 \cdot \text{d)} = \frac{\text{carga ST afluyente (kg/d)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \quad (5.2)$$

c) tempo de detenção hidráulica

$$TDH \text{ (horas)} = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{\text{vazão afluyente (m}^3 \text{/d)}} \quad (5.3)$$

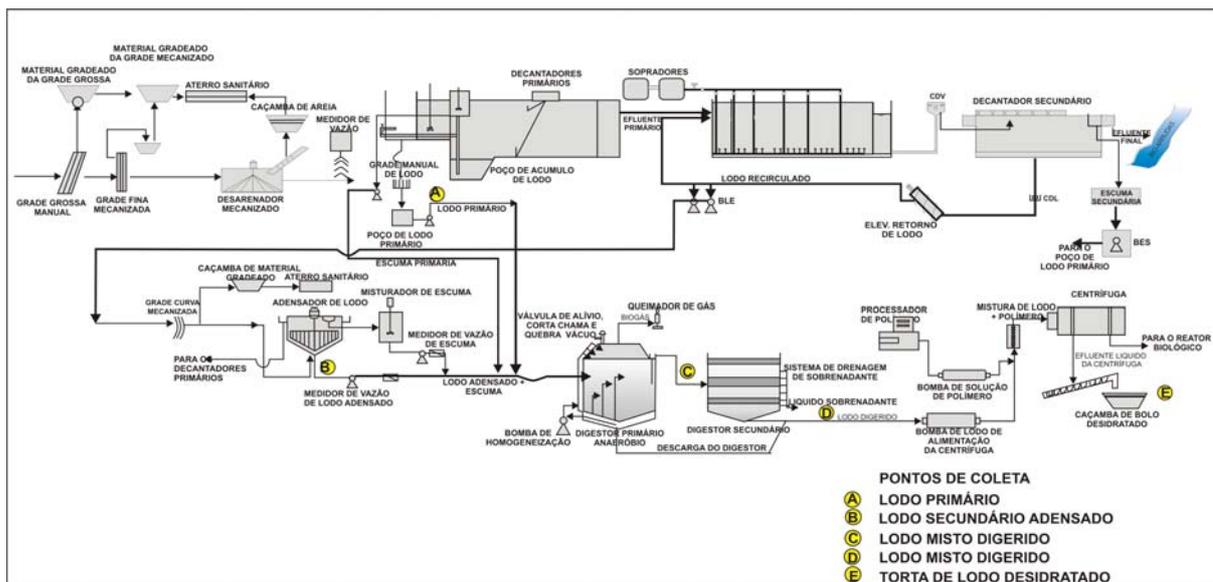


FIGURA 5.1 – Pontos de amostragem do lodo

Fonte: Adaptado de SILVA, 2002, v. 7, p. 8.

Pela FIG.5.1 nota-se cinco pontos de amostragem do lodo da ETE Arrudas, que podem ser descritos da seguinte forma:

Ponto A- lodo primário: coletado no poço de lodo primário;

Ponto B- lodo adensado: coletado na linha de recalque para os digestores primários;

Ponto C- lodo misto digerido: coletado na caixa de extravasão no topo dos digestores;

Ponto D- lodo misto digerido: coletado na linha de alimentação das centrífugas;

Ponto E- torta de lodo desidratado: coletado nas caçambas que recebem o lodo desidratado.

TABELA 5.1
Parâmetros principais analisados na fase sólida

Parâmetros	Unid	Decantador Primário	Reator Biológico	Decantador Secundário	Adensador	Digestor	Líquido centrado	Desidratação
Vazões de lodo	m ³ /d	d	d		d	d		d
Temperatura	°C	d	d	d	d	d	d	d
pH		d	d		d	d	d	
Sólidos sedimentáveis	ml/Lxh	d						
Sólidos totais	mg/L	d			d	d	d	d
Sólidos totais fixos	mg/L	d			d	d		
Sólidos totais volát.	mg/L	d			d	d		
Sólidos susp. totais	mg/L	d	d	d				
Sólidos susp. fixos	mg/L		d					
Sólidos susp. volát.	mg/L		d					
Umidade	%	d			d	d	d	d
Acidez volátil	mg/L					d		
Alcalinidade total	mg/L					d		
Vol. de lodo desidr.	m ³ /d							d

Fonte: COPASA²

d= análise diária

5.2 Parâmetros de amostragem

As coletas das amostras foram efetuadas pelos técnicos da COPASA. Diariamente foi feita análise dos parâmetros da fase sólida, com exceção da relação acidez/alcalinidade que foi realizada uma vez por semana. As amostras foram simples.

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras e os métodos de análises seguem as recomendações do “Standard methods for the examination of water and wastewater” (APHA, AWWA, WEF, 1998). Os pontos de coleta são mostrados na FIG. 5.1.

² COPASA – MG. Documentação técnica interna.

5 METODOLOGIA

5.1 *Dados disponíveis*

Os materiais necessários ao desenvolvimento da dissertação foram aqueles disponibilizados pela COPASA, e que balizaram o estudo de avaliação de desempenho da ETE. Esse material conta com os dados históricos do período de agosto de 2002, 2003, 2004 até junho de 2005. Desde que a Estação entrou em operação em outubro de 2001, têm sido realizadas análises físico-químicas no laboratório da própria estação.

Todos os dados técnicos, informações operacionais e resultados das análises físico-químicas, são catalogados, diariamente, em fichas operacionais. Análises de metais pesados e coliformes são feitas no Laboratório central da COPASA. O presente estudo fez uma avaliação dos dados históricos dos últimos três anos de atividade por se encontrarem mais completos.

Como parte deste trabalho de dissertação, os dados das análises relacionadas com o processamento do lodo foram introduzidos no computador, por meio de planilhas eletrônicas, o que possibilitou a sistematização de resultados.

Com base nessas planilhas, foi possível calcular diversas relações, taxas de aplicação e variáveis importantes no estudo da fase sólida. Os gráficos da série histórica dos resultados das análises e combinações de variáveis interrelacionadas foram plotados no Excel e no programa Statistica, com o intuito de estabelecer inter-relações das diversas variáveis e investigar o comportamento do lodo em todas estas fases de operação.

Apresenta-se a seguir, a TAB. 5.1 com uma lista dos parâmetros principais de interesse para o estudo, bem como a frequência e os locais de amostragem.

TABELA 4.1

Dados técnicos para vazão média (2,25 m³/s) das unidades da fase sólida que compõem a ETE Arrudas

	(Conclusão)
Carga orgânica volumétrica prevista	1,7 kgSTV/m ³ .d
Produção de gás estimada	25.000 m ³ /d
Digestores Secundários	
Número de unidades	01
Diâmetro interno	27 m
Altura lateral	12 m
Volume total útil	6.295 m ³
Tempo de detenção do lodo digerido	6,4 dias
Número de registros de drenagem de sobrenadantes	06
Diâmetro da linha de drenagem de sobrenadante	200 mm
Diâmetro da linha das centrífugas	200 mm
Desidratação	
Número de centrífugas	02
Vazão de alimentação por centrífuga	36 m ³ /h
Concentração de sólidos afluentes	4,7 % ST
Concentração da torta	> 25 % ST
Consumo de polieletrólito	4 kg/ton ST
Consumo de água de lavagem	6 m ³ /d
Produção da torta a 30 % (Q = 4,5 m ³ /s)	110 m ³ /d
Fabricante da centrífuga	ALFA LAVAL
Modelo	DSNX 4565 AT
Diâmetro do rotor	450 mm
Comprimento do rotor	2.360 mm
Velocidade de operação	2.900 r.p.m
Potência do motor principal	75 CV
Peso total do equipamento	3.370 kg

TABELA 4.1

Dados técnicos para vazão média (2,25 m³/s) das unidades da fase sólida que compõem a ETE Arrudas

(Continuação)

Unidades	Dados Técnicos
Decantador Primário	
Número de Unidades	03
Formato	retangular
Comprimento do tanque	85 m
Largura do tanque	17,50 m
Profundidade útil	3,50 m
Área unitária	1.487,50 m ²
Volume unitário	5.206,25 m ³
Volume total	15.618,75 m ³
Taxa de aplicação para Qmedio	43,56 m ³ /m ² .d
Tempo de detenção hidráulica para Qmedio	1,92 h
Adensador	
Número de Unidades	02
Tipo de adensamento	por gravidade
Formato	cilindrico
Diâmetro interno	25 m
Altura média	3,5 m
Área individual	490,62 m ²
Área total	981,24 m ²
Volume individual	1.717 m ³
Volume total	3.434 m ³
Inclinação do fundo	9%
Digestores Primários	
Número de unidades	03
Diâmetro interno	27 m
Altura lateral	14,50 m
Altura central	18,30 m
Inclinação de fundo	5 %
Área superficial interna	572,26 m ²
Volume individual útil	8.300 m ³
Volume total útil	24.900 m ³
Alimentação prevista de lodo misto adensado	984 m ³ /d
Tempo de detenção previsto	25,3 dias

O lodo é introduzido na parte central da centrífuga sendo então acelerado a uma velocidade de, aproximadamente, 3.000 r.p.m, com a qual é submetido aproximadamente a uma força 2400 vezes maior que a força da gravidade. No extremo oposto ao da alimentação do lodo sai o efluente líquido da desidratação que retorna ao canal de alimentação dos decantadores primários.

O torta desidratado vai, por meio de um parafuso transportador, para uma caçamba de onde segue, por caminhão, para o destino final, que é o aterro sanitário da SLU. Em contrapartida, o aterro lança seu chorume na Estação. A FIG. 4.4 mostra uma vista do prédio que abriga as centrífugas.



FIGURA 4.4 – Vista do prédio da centrífuga

Fonte: SILVA, 2002, v. 6, capa.

4.3 Características de projeto das unidades principais vinculadas à fase sólida

As principais características de cada unidade que compõe a fase sólida da Estação estão resumidas na TAB. 4.1.

Durante o processo de digestão anaeróbia do lodo ocorre a formação de biogás (metano + gás carbônico) que é queimado nos queimadores de gás.

Uma tubulação de fundo dos digestores primários anaeróbios, interligada à tubulação que conduz o lodo do digestor secundário para a centrífuga, através de manobras de registros, permite drenar todos os digestores. A FIG. 4.3 mostra uma vista dos digestores.

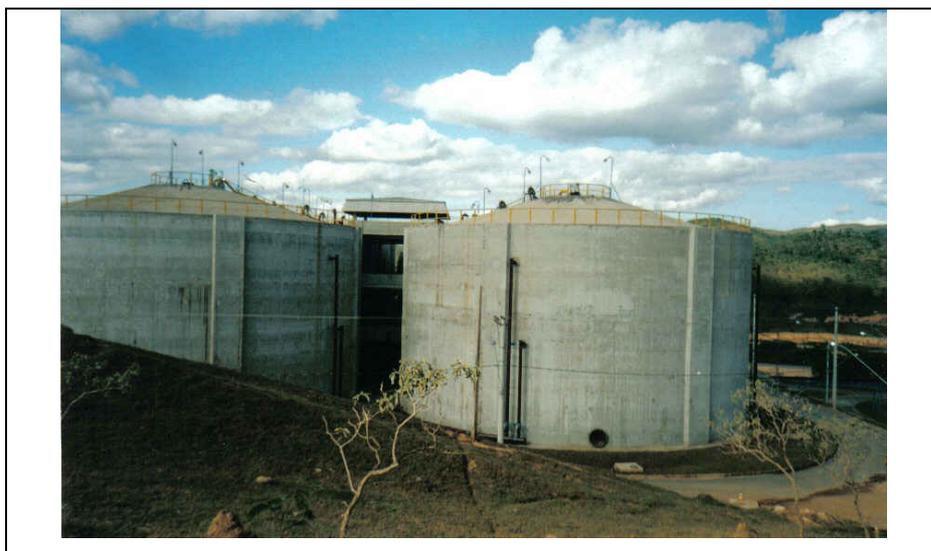


FIGURA 4.3 – Vista dos digestores

Fonte: SILVA, 2002, v. 5, capa.

4.2.3 Desidratação do lodo

O prédio da desidratação de lodo, onde estão as duas centrífugas da ETE Arrudas, está localizado ao lado dos decantadores primários. Cada centrífuga tem a capacidade de receber uma vazão de 36 m³/h e trabalhar durante 24 horas.

Ao ser bombeado, o lodo proveniente do digestor secundário, recebe, a partir do recalque da bomba a injeção da emulsão de polímero catiônico que é misturada ao lodo no misturador estático antes de chegar na centrífuga. O polímero é preparado num processador automático e bombeado na concentração de 0,4% através de bombas dosadoras. O consumo é cerca de 4 kg (peso seco) de polímero (aproximadamente 12 litros de emulsão) para cada tonelada de sólido seco do lodo afluente à centrífuga.



FIGURA 4.2 – Vista dos adensadores por gravidade

Fonte: SILVA, 2002, v. 4, capa.

4.2.2 Digestores

Os digestores primários anaeróbios estão implantados próximos aos adensadores por gravidade. São compostos de três unidades circulares com diâmetro interno de 27 m e altura lateral de 14,50 m. O digestor secundário possui também 27 m de diâmetro e 12 m de altura.

Os digestores primários recebem o lodo bruto e a espuma procedente dos adensadores de lodo que são, constantemente, misturados com o lodo em digestão, através da sucção pelo fundo e recalque em três níveis distintos por bocais instalados, periféricamente, e internamente, aos digestores. No topo dos digestores anaeróbios, bocais efetuam a quebra da espuma que se forma na superfície líquida do digestor. A cada bombeamento de lodo adensado e espuma ocorre uma extravasão de lodo digerido do digestor primário para o digestor secundário. No digestor secundário, o lodo é concentrado no fundo do mesmo de onde segue para alimentar as bombas do sistema de desidratação. Periodicamente, é feita uma drenagem do líquido sobrenadante do digestor secundário para a entrada do canal que alimenta os decantadores primários.

Antes de ter acesso aos reatores, a vazão de lodo recirculado é também medida por um medidor de vazão magnético, instalado na linha de recirculação.

São seis unidades circulares que compõem os decantadores secundários com diâmetro de 50 m cada um. Nos decantadores secundários, a espuma flutuante na superfície é recolhida em bandejas e alimenta o poço de espuma secundária de onde bombas a enviam para o poço de lodo primário.

4.2 Tratamento do lodo

4.2.1 Adensadores

Os adensadores de lodo da ETE Arrudas estão localizados próximos aos digestores primários. São dois adensadores por gravidade, de formato cilíndrico, com diâmetro de 25 m.

Nos adensadores, o lodo se concentra no fundo e a espuma flutua na superfície sendo raspada para a bandeja de espuma e se dirigindo para o poço. Através do movimento de rotação e pela passagem das hastes da ponte do adensador, o lodo permanece várias horas dentro da unidade onde é concentrado.

Uma vez atingida essa concentração, é ligada a bomba de lodo adensado recalçando-o para os digestores primários anaeróbios. O líquido efluente dos adensadores retorna, por gravidade, para o canal de chegada dos decantadores primários. O sistema de adensamento de lodo por gravidade da ETE Arrudas possui dois medidores eletromagnéticos. A FIG. 4.2 mostra uma vista dos adensadores.

Cada decantador possui três comportas de entrada de esgoto bruto, um vertedor de saída do efluente primário e três poços de acumulação e concentração de lodo (*hoppers*). Cada decantador foi projetado para uma vazão média de 750 l/s. Atualmente são usados dois decantadores que forneceram os dados de rotinas operacionais.

Entre cada dois decantadores existe um poço de espuma com três comportas, provido de misturadores de espuma. Uma dessas comportas, voltada para a área interna dos decantadores, recebe a espuma de dois decantadores, que é lançada pelo raspador superior na canaleta de espuma. Do poço, as bombas de espuma fazem o recalque da espuma para os adensadores de lodo. A ponte móvel dos decantadores arrasta pelo fundo o lodo sedimentado para os *hoppers* e daí, por abertura de três válvulas motorizadas, o lodo é descarregado em um canal, passando por uma grade manual e alimentando o poço de lodo primário.

4.1.3 Tratamento secundário

O efluente dos decantadores primários alimenta os dois reatores aeróbios através de um canal provido de comportas motorizadas. O lodo recirculado dos decantadores secundários também retorna para a montante dos reatores. Tanto o efluente primário, como o lodo de retorno, são introduzidos na zona anóxica do reator, constituída de três unidades por reator, providas tanto de difusores de bolhas finas como de turbo misturadores. O efluente dos decantadores primários pode alimentar os reatores de lodos ativados no seu início (processo *plug flow*) como através de quatro comportas manuais laterais (processo alimentação escalonada). O ar de processo é fornecido aos reatores por três sopradores centrífugos que injetam o ar no fundo dos tanques através de difusores de bolhas finas tipo membrana. O efluente dos reatores cai num canal de onde alimenta a caixa distribuidora de vazão que dirige o fluxo para cada um dos decantadores secundários. O lodo biológico sedimentado nos decantadores secundários é recolhido, continuamente, por uma ponte raspadora provida de válvulas telescópicas distribuídas ao longo da ponte removedora de lodo. O lodo removido nos decantadores retorna aos reatores através do bombeamento por duas bombas tipo parafuso.

Próximo à montante do reator de lodos ativados, na tubulação de recirculação do lodo, estão instaladas as sucções de duas bombas de lodo excedente que é enviado para os adensadores. Na tubulação de recalque que vai para os adensadores está instalado um medidor magnético de vazão de lodo excedente.

4.1 *Descrição do processo de tratamento dos esgotos da ETE Arrudas*

4.1.1 Tratamento preliminar

A estação possui um tratamento preliminar composto de sistema de gradeamento, desarenação e *by-pass*.

O esgoto afluyente à ETE passa, primeiramente, por uma estrutura de chegada onde, através da comporta principal é encaminhado ao tratamento preliminar. Nessa estrutura de entrada, através de uma comporta de extravasão, o esgoto pode ser lançado diretamente no rio Arrudas nos momentos de vazões intensas. Um *by-pass*, constituído de *stop logs*, também permite uma extravasão para o rio no caso de grandes volumes de esgotos afluentes à ETE. Da comporta principal, o esgoto passa pela grade grossa manual, onde são retidos os sólidos de grandes dimensões. Estes materiais são removidos, manualmente, por rastelo e levados para a caçamba de material gradeado.

Cada grade fina mecanizada possui em seu respectivo canal uma comporta de entrada e uma comporta de saída. O material removido mecanicamente das grades finas é lançado numa correia transportadora e daí, para a caçamba de material gradeado. O efluente das grades finas passa pelas comportas de entrada dos desarenadores onde a areia sedimentada é lançada por um ponte raspadora até um poço de acumulação, de onde um parafuso classificador a envia para a caçamba de areia. Tanto o material removido nas grades, como a areia retida dos desarenadores, são levados por caminhão para o aterro sanitário. O efluente dos desarenadores se dirige para o sifão e daí vai para os decantadores primários.

4.1.2 Tratamento primário

Após passar pelos desarenadores o esgoto chega ao canal dos decantadores primários. O esgoto é distribuído nos seis decantadores primários, através de três entradas distintas que afluem ao canal de alimentação dos decantadores.

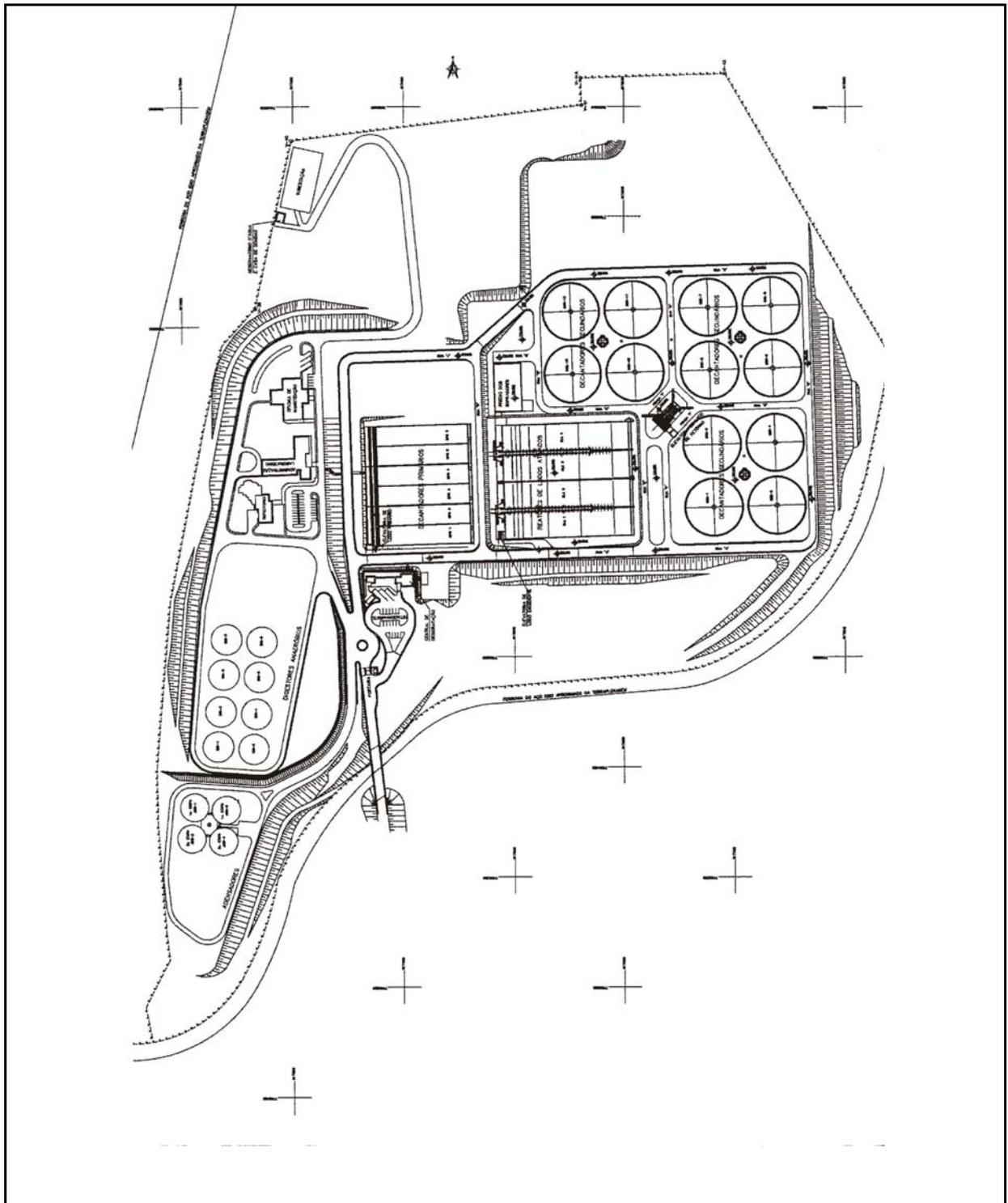


FIGURA 4.1 – Layout da Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas

Fonte: COPASA – MG, 2002.¹

¹ COPASA – MG. Projeto ETE Arrudas, Ago. 2000.

4 A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO ARRUDAS

O trabalho desenvolvido constitui numa investigação científica observacional cujo delineamento é o estudo de caso do lodo da ETE Arrudas (HELLER; NASCIMENTO; VON SPERLING, 1996).

A ETE Arrudas entrou em operação em outubro de 2001, com o tratamento primário, e em janeiro de 2003 já operava com o tratamento secundário. O projeto da estação previu o tratamento dos esgotos domésticos de uma população estimada para fim de plano de 1,6 milhões de habitantes e vazão de 4,5 m³/s.

O tratamento preliminar e o tratamento primário foram construídos para atender a uma vazão média de fim de plano de 4,5 m³/s, ao passo que o tratamento secundário foi implantado para uma vazão inicial de 2,25 m³/s. A FIG. 4.1 mostra o *layout* da Estação.

biológicos e da instalação de diferentes tecnologias ao longo do período de evolução o processo se firmou e, atualmente, é um dos sistemas de tratamento mais confiáveis. A maior estação de tratamento de lodos ativados do mundo se localiza em Chicago (West- Southwest) tratando uma vazão de 45 m³/s. No Brasil, a maior ETE com este sistema se localiza em São Paulo: ETE Barueri, com capacidade para tratar no fim de plano uma vazão de 28 m³/s. A ETE Arrudas, foi projetada para atender uma vazão de fim de plano de 4,5 m³/s.

Oliveira e von Sperling (2005) fizeram um estudo sobre a avaliação comparativa de seis tecnologias de tratamento de esgoto, em termos de atendimento a padrões de lançamento para DBO e concluíram, através de testes estatísticos, que o processo de lodos ativados juntamente com reator UASB e pós-tratamento atendiam a maioria dos critérios selecionados. Nesse trabalho, os autores apresentaram uma análise com perspectiva mais abrangente de todas as tecnologias.

A TAB. 3.12 mostra as eficiências típicas normalmente alcançadas com o processo.

TABELA 3.12

Eficiências típicas do processo de lodos ativados

Características	DBO	SS
Efluente típico, mg/L	20-30	20-30
Remoção típica, %	85-95	85-95

Fonte: JORDÃO; PESSOA, 2005, p. 510.

Além disso, David (2002) acrescenta que o sistema de lodos ativados convencional produz uma grande quantidade de lodo, que necessita ser processado para completa eficiência do sistema e que as variações nas características do lodo são bastante amplas. As etapas de gerenciamento são fundamentais e se completam com a higienização e destinação final.

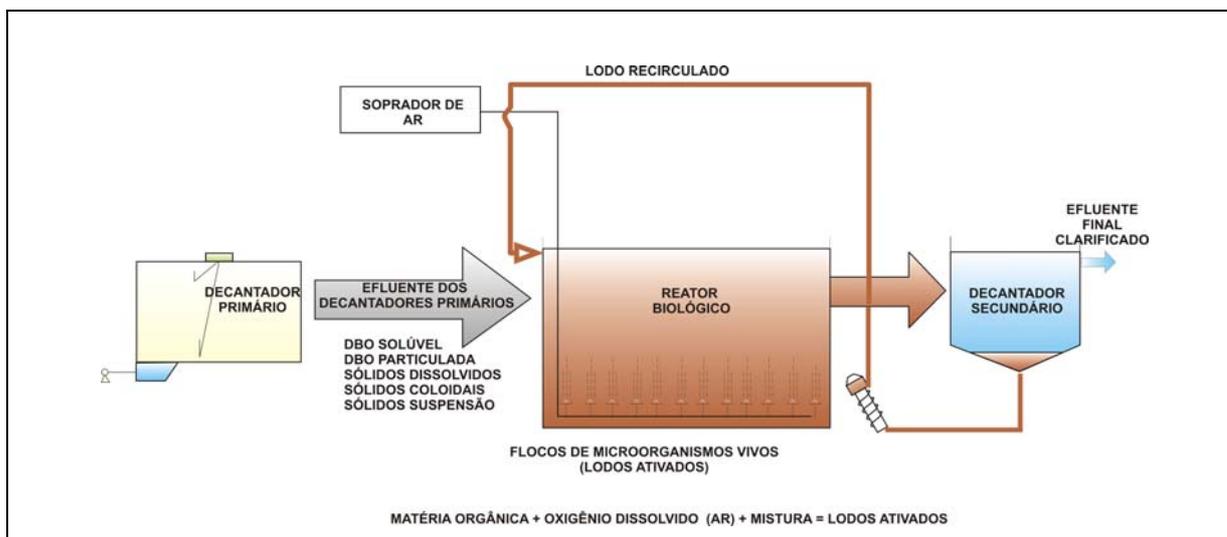


FIGURA 3.6 – Formação do lodo ativado em uma estação de tratamento de esgotos pelo processo convencional

A TAB. 3.11 apresenta as principais vantagens e desvantagens dos sistemas de lodos ativados, modalidade convencional.

TABELA 3.11

Vantagens e desvantagens das variantes mais comuns dos sistemas de lodos ativados

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> Elevada eficiência na remoção de DBO 	<ul style="list-style-type: none"> Elevados custos de implantação e operação
<ul style="list-style-type: none"> Possibilidade de remoção biológica de nitrogênio e fósforo 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado consumo de energia
<ul style="list-style-type: none"> Processo confiável, desde que supervisionado 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado índice de mecanização
<ul style="list-style-type: none"> Reduzidas possibilidades de maus odores, insetos e vermes. 	<ul style="list-style-type: none"> Necessidade do tratamento completo do lodo e sua disposição final
	<ul style="list-style-type: none"> Possíveis problemas ambientais com ruídos e aerossóis

Fonte: VON SPERLING, 1997, p. 25.

Para alcançar todas estas vantagens no processo de lodos ativados, modalidade convencional, importantes fatores devem ser destacados: concentração do lodo no tanque de aeração e a idade do lodo.

As estações de tratamento de esgotos pelo processo de lodos ativados começaram a ser construídas em 1914 (JORDÃO; PESSOA, 2005). Depois de várias pesquisas dos aspectos

3.3 O processo de lodos ativados

3.3.1 Preliminares

O sistema de lodos ativados é um processo biológico, que pode ser classificado em função da idade do lodo (lodos ativados convencional e aeração prolongada) e quanto ao fluxo (contínuo ou intermitente).

No presente trabalho foi investigado o lodo produzido pelo sistema convencional de lodos ativados.

3.3.2 Características do processo de lodo ativado modalidade convencional

Na variante lodos ativados convencional, a concentração da biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação de sólidos (bactérias) sedimentados no fundo do decantador secundário. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção de DBO. Há a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo (bactérias) equivalente à que é produzida. Esse lodo necessita de uma estabilização na etapa de tratamento do lodo. O fornecimento de ar no reator é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso. A montante do reator há uma unidade de decantação primária, de forma a remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto (VON SPERLING, 1997).

A FIG. 3.6 mostra como se dá a formação do lodo ativado em uma ETE.

TABELA 3.10

Alguns problemas operacionais nas centrifugas e possíveis correções

Sintomas	Causa	Recuperação e Prevenção
Torta de lodo com baixo teor de sólidos (Baixa captura de sólidos)	Dosagem incorreta do polieletrólito	Fazer testes no laboratório
< 25% SST	Lodo mal digerido	Análise completa do lodo digerido
Elevado teor de sólidos no líquido drenado	Cilindro e parafuso desregulado	Presença de técnico especializado
Barulho anormal na centrifugação	Possível desgaste nos rolamentos	Presença de técnico especializado

Fonte: Adaptado de SILVA, 2002, v. 7, p. 19.

3.2.5 Disposição final

As estações de tratamento de esgotos produzem lodos que devem ter uma disposição adequada para que se consiga um controle eficaz da poluição ambiental. Existem diferentes possibilidades de destinação desses lodos, entre elas: aplicação no solo, distribuição e comercialização, aterro, incineração (EPA, 1989).

As opiniões apresentadas por Santos e Tsutiya (1997) se alinham com as de Lee e Liu (2004) no que se refere à escolha dos processos de tratamento e disposição final. Diversas propriedades do lodo devem ser investigadas em profundidade. É importante considerar o tipo de lodo e os riscos associados com o processo de disposição devido à presença de organismos patogênicos, metais pesados e substâncias tóxicas, consideração dos nutrientes presentes no lodo e matéria orgânica. Segundo os autores, devem ser analisadas também a distância até o aterro, custos, energia e aceitação pública.

De acordo com Matthews (1997), as principais categorias de disposição de lodo de esgotos deveriam ser a aplicação na agricultura, parques florestais e como alternativa menos favorável a aplicação em aterros sanitários. As considerações de disposição deveriam visar, sempre que possível, o uso benéfico do lodo.

TABELA 3.8

Faixas de rendimento do decanter tipo centrífugo

Tipo de sólidos do esgoto	Alimentação de ST (%)	Dosagem de polímero kg/t ST	Concentração da torta (%)
Primário não digerido	4-8	2-14	25-40
Lodo ativado não digerido	1-4	2-14	16-25
Primário + lodo ativado não digerido	2-4	2-14	25-35
Primário + lodo ativado digerido	1,5-3	2-14	16-25
Primário + lodo ativado anaeróbio digerido	2-4	2-14	22-32
Primário anaeróbio digerido	2-4	2-14	25-35
Lodo ativado aeróbio digerido	1-4	9	18-21
Digestor termofílico aeróbio	4-6	9-18	20-25
Digestor termofílico anaeróbio	3-6	9-14	22-28
Estabilização com cal	4-6	7-12	20-28

Fonte: Adaptado de EPA, 2000 e de vários fornecedores de centrífuga (IRELAND; BALCHUNAS, 1998; HENDERSON; SCHULTZ, 1999; LEBER; GARVEY, 2000, p. 5).

A TAB. 3.9 apresenta os principais parâmetros operacionais das centrífugas.

TABELA 3.9

Parâmetros operacionais das centrífugas

Parâmetro	Quantidade
Captura de sólidos estimada	80 a 95%
Concentração de sólidos na torta desidratada	20 a 30%
Consumo de polímero para lodo misto digerido	4 a 6 kg/ton ST

Fonte: Adaptado de WEF, 1992, p. 1194; VON SPERLING, GONÇALVES; LUDUVICE, 2001, p. 212.

Os principais problemas operacionais da centrífuga, suas causas e correções sugeridas são apresentados na TAB. 3.10.

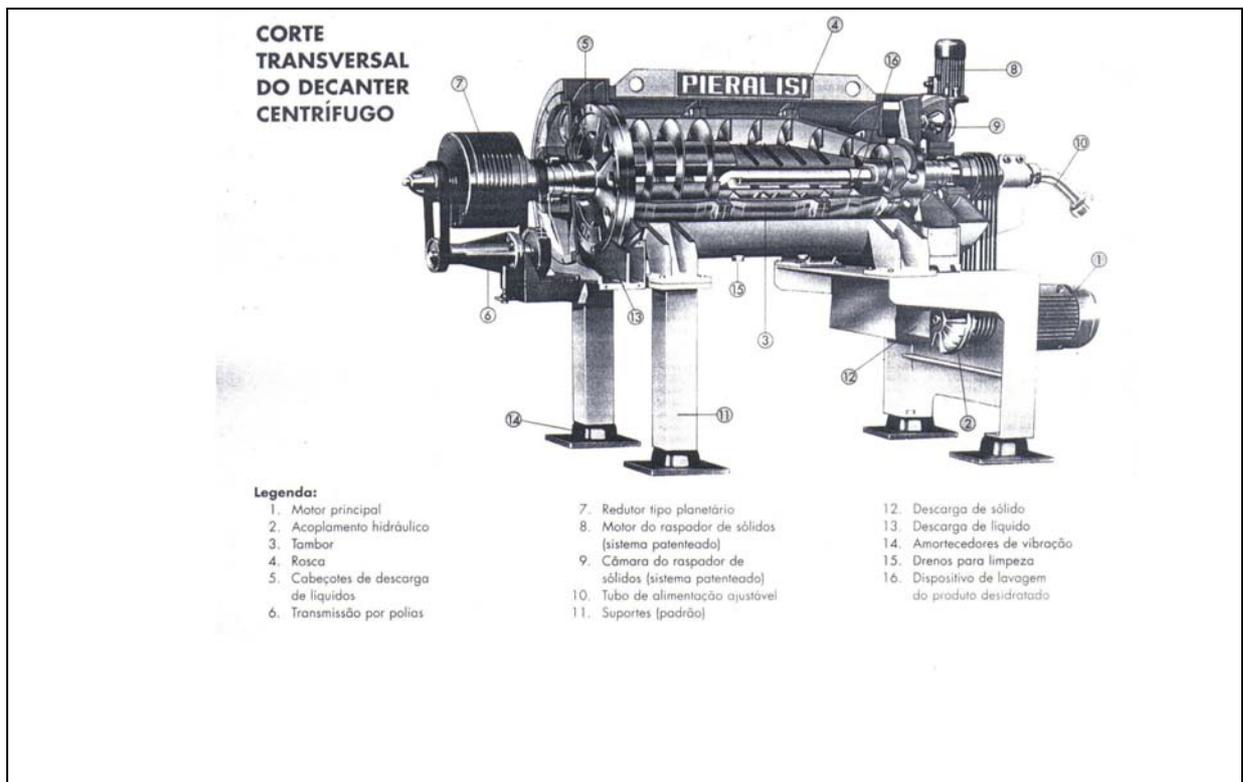


FIGURA 3.5 – Desenho decanter centrífugo.

Fonte: PIERALISI, 2000.

Quanto à aplicabilidade, segundo a EPA (1987), a centrífuga pode ser usada para adensamento ou desidratação. A percentagem de sólidos pode ser variada por mudanças dos parâmetros operacionais.

As fases operacionais da desidratação mecânica de lodos, por centrífuga, podem ser assim resumidas:

- a) alimentação das centrífugas;
- b) adição de polieletrólito ou polímero;
- c) centrifugação;
- d) retorno do efluente líquido;
- e) descarga do lodo desidratado.

A TAB. 3.8 apresenta a faixa esperada de rendimento da centrífuga.

Segundo Gonçalves *et al.* (2001), a seleção do processo de desidratação depende do tipo de lodo e da área disponível. Para estações de tratamento que dispõem de grandes áreas de implantação e atendem uma pequena população, as lagoas de lodo e os leitos de secagem são a melhor alternativa.

Quanto aos processos mecânicos, são mais utilizados os filtros prensa de correia, o filtro prensa de placas e as centrífugas. Essas últimas são utilizadas na ETE Arrudas, razão pela qual são tecidas considerações adicionais.

3.2.4.2 Desidratação por centrífugas

As centrífugas são equipamentos que se destinam à desidratação do lodo, separando os sólidos da água por diferença da força centrífuga. A concentração dos sólidos que entram na centrífuga é de 3 a 5 % e a concentração de sólidos no lodo desidratado varia de 20 a 30 %. As centrífugas operam com uma alimentação contínua, e removem sólidos por meio de um transportador em espiral e descarga contínua do líquido. O líquido efluente da centrífuga deve retornar ao início do tratamento, sendo misturado com o esgoto afluente à Estação. A centrífuga separa a torta de lodo desidratado e o clarificado, denominado também de “centrado”. Essa separação ocorre devido à diferença de densidade entre os sólidos do lodo e a água circundante. Esse processo de separação assemelha-se com o que ocorre num decantador por gravidade. No entanto, a centrífuga utiliza uma força de 500 a 3000 vezes a força da gravidade (EPA, 2000; MIKI; ANDRIGUETI; ALÉM SOBRINHO, 2001).

A FIG. 3.5 apresenta um desenho típico de uma centrífuga.

- b) seleção da concentração que será preparada;
- c) regulagem da água de diluição necessária.

3.2.4 Desidratação

A desidratação dos lodos digeridos tem como objetivo retirar parte da água contida no lodo, reduzindo assim o teor de umidade do mesmo.

3.2.4.1 Preliminares

Metcalf & Eddy, Inc. (1991) apresentam diversos motivos que justificam a redução do volume de água dos lodos, entre eles:

- a) os custos de transporte do lodo para o local de disposição final tornam-se, significativamente, menores quando o volume do lodo reduz-se através da desidratação;
- b) o lodo da desidratação é normalmente mais fácil de ser manipulado que o lodo adensado ou líquido;
- c) a desidratação, isto é, a redução do conteúdo de umidade do lodo, permite uma incineração mais eficiente;
- d) caso a compostagem seja utilizada posteriormente como reúso, o lodo desidratado diminui a quantidade e, portanto, o custo de agentes aditivos deste tipo de processo;
- e) caso a disposição final seja o aterro, a desidratação torna-se necessária para diminuição da produção de chorume e do volume de lodo armazenado (prolongando a vida útil do aterro), bem como para permitir uma melhor trabalhabilidade pelos equipamentos de compactação e distribuição.

A digestão foi acompanhada pela liberação do biopolímero na solução. Essa determina a dose do polímero necessário para o condicionamento. À medida em que o percentual de destruição de sólidos aumentava devido à digestão, a resistência específica para filtração aumentava juntamente com o requisito de condicionamento químico. Pode-se concluir que os requisitos quanto ao condicionamento variam enormemente e estão em processo de aperfeiçoamento.

3.2.3.2 Utilização de polieletrólito

De acordo com Miki (1998), os termos polieletrólito e polímero são utilizados como sinônimos. Um polieletrólito é um polímero que contém grupos ionizáveis, usualmente um ou mais, que se repetem por unidade.

Conforme Schwoyer (1981), o termo polímero vem acompanhado da palavra sintético, produzido através da ação do homem, diferenciando dos polímeros naturais derivados do amido.

Os polieletrólitos orgânicos (polímeros) são moléculas grandes, solúveis em água, desenvolvidas a partir de pequenos elementos construtivos, denominados monômeros, repetidos numa cadeia longa. Conforme enfatizado pela WEF (1992), os polímeros estão disponíveis na forma sólida/pó, líquida, emulsão ou gel. De todas essas, as mais comuns que podem ser utilizadas para condicionamento do lodo são a sólida, líquida e a emulsão, e quanto à carga do composto pode ser aniônico, não iônico ou catiônico.

O sistema de preparo de polímero tem por finalidade preparar automaticamente, através de equipamentos microprocessados, a concentração exata de solução de polímero que será adicionada ao lodo digerido que alimenta o sistema de desidratação do lodo (SILVA, 2002).

A partir de uma emulsão de polímero, e da adição controlada de água, obtém-se uma solução na concentração capaz de capturar os sólidos contidos no lodo que será desidratado.

As seguintes operações principais fazem parte da rotina do sistema de preparo do polímero:

- a) verificação do peso da emulsão do polímero;

Quanto a esses fatores destacam-se o condicionamento do lodo, o pH e a alcalinidade por estarem sensivelmente relacionados com a coagulação e espécies químicas presentes além da natureza da associação água – sólidos no lodo.

Os fatores biológicos que afetam a coagulação e floculação do lodo estão relacionados com a geração de lodo podendo ser primária ou secundária e com processo de tratamento através de filtros biológicos ou lodos ativados. De acordo com a situação, especifica-se a dosagem do condicionamento. Costuma-se utilizar polímero catiônico para os lodos primários e polímeros aniônicos para os lodos químicos.

Por outro lado, no que se refere à digestão, Novak e Park (2004) enfatizam que, apesar dos avanços feitos na compreensão da estrutura e composição do lodo de esgoto, o condicionamento químico permanece um processo de tentativa e erro, tanto no que se refere ao tipo, quanto à dosagem de condicionador necessária. Recentes estudos desses autores, na Virginia Tech, apontam que o floco biológico consiste em dois tipos de biopolímero: o material associado ao floco e alumínio e o material associado ao cálcio e magnésio. Esses materiais parecem apresentar comportamento diferente quando o lodo passa pelo processo da digestão. Isso resulta em um material diferente que é liberado na solução durante a digestão e em diferentes requisitos para o condicionamento.

O estudo de Novak e Park (2004) também demonstra a relação que existe entre a eficiência do processo de digestão, caracterizado pela destruição de sólidos voláteis, e a influência na dosagem química necessária para condicionamento. Isto significa que, à medida que a destruição dos sólidos aumenta, aumentam os requisitos químicos para condicionamento. O lodo mal digerido desidrata mais precariamente e requer mais condicionamento químico do que aqueles com maior destruição de sólidos voláteis.

Os autores desenvolveram o estudo descrito a seguir, utilizando uma abordagem experimental. Inicialmente, amostras de lodo ativado e afluente secundário foram colhidas de sete tipos de Estações de tratamento de esgotos por funcionários da Estação e enviadas em gelo para o Centro Tecnológico de Virginia. Os cátions, anions e biopolysacarídeos passaram por processo de análise juntamente com o condicionamento e desidratação de lodos digeridos.

Outro processo de estabilização ocorre com produtos químicos. Segundo Jordão e Pessoa (2005) o que acontece na estabilização química é uma redução de microrganismos, e o lodo tratado se torna impróprio para a proliferação dos mesmos, não entrando mais em estado de putrefação, nem gerando riscos ambientais ou de saúde pública. Segundo os autores, o processo de estabilização alcalina pode ser obtido com a adição de cal no lodo desidratado, no lodo cru ou outras tecnologias.

De acordo com Sant'Anna; Silva, M. O. S. A.; Silva, M. F. (2005), apresentando um estudo sobre a ETE Goiânia, que trata o esgoto pelo CEPT e adiciona como produto químico cloreto férrico na caixa de areia, polímero aniônico para esgoto bruto e catiônico para desidratação do lodo e cal para inertização, foram alcançadas concentrações de sólidos totais na torta de lodo acima dos valores de projeto e eficiências de remoção de DBO e sólidos suspensos superiores quando comparados com a decantação primária convencional.

Já a secagem térmica dos lodos é uma operação realizada através da aplicação de calor para remoção da água nele contida, por evaporação. As principais vantagens da secagem térmica são o custo reduzido de transporte do lodo seco, elevada redução de organismos patogênicos, e possibilidade de estocagem e venda de produto como fertilizante. Todavia, o elevado custo de energia torna este processo de difícil utilização.

3.2.3 Condicionamento

Segundo Miki; Andrigueti e Alem Sobrinho (2001), o condicionamento é um processo para melhorar as características de separação das fases sólido-líquido do lodo, seja por meios físicos ou químicos. O condicionamento químico do lodo utiliza sais metálicos, cal e polímeros orgânicos (polieletrólitos). Os sais metálicos mais empregados são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso, policloreto de alumínio (PAC), sulfato férrico e a cal virgem e cal hidratada.

3.2.3.1 Preliminares

Diversos fatores físicos afetam o condicionamento do lodo. Primeiramente, destaca-se a intenção de aumentar o tamanho das partículas, evitando o escape de colóides e finos do tratamento. Segundo, a intensidade da mistura, responsável pela dispersão do polímero.

desidratabilidade do lodo, sugerindo maximização de suas qualidades de tal maneira a aprimorar as condições econômicas e ecológicas do seu manejo.

3.2.2.5 Digestores sem homogeneização (digestores secundários)

Comumente nas grandes instalações de tratamento de esgotos domésticos, após sofrer uma digestão primária, o lodo digerido extravasa para grandes tanques que funcionam como reservatórios de armazenamento de lodo, não providos de homogeneização, onde se promove uma complementação da digestão. Esses tanques são denominados digestores secundários.

Pelas condições de repouso, pelo despreendimento ainda de gases que produzem um efeito de flotação e pelas diferenças de densidade existentes formam-se, internamente, no digestor, várias camadas distintas. Lateralmente, esses tanques são providos de registros colocados, normalmente, de metro em metro que possibilitam, de acordo com a altura onde se situa a camada líquida, permitir a drenagem do sobrenadante e o envio para o início do processo de modo a manter sempre um maior espaço disponível para receber os lodos procedentes dos digestores primários (SILVA, 1982).

3.2.2.6 Outros processos de estabilização do lodo

Além do processo de digestão anaeróbia, os lodos das ETEs podem ser estabilizados por digestão aeróbia, compostagem e estabilização química com cal.

Segundo o Metcalf & Eddy, Inc. (1991) o lodo digerido, aerobicamente, é mais difícil de desaguar que o estabilizado anaerobicamente.

Outro meio de estabilizar o lodo é a compostagem, conhecida como um processo biológico aeróbio. Pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água e formação de matéria orgânica estável. Segundo Fernandes e Souza (2001), do ponto de vista operacional, uma das grandes diferenças da compostagem em comparação com outros métodos de estabilização é que ela se realiza em meios sólidos. O produto final estabilizado é conhecido como composto e é, largamente, utilizado na agricultura.

TABELA 3.7

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.

Segundo Jordão e Pessoa (2005); Silva (1982) e Ludovice (2001) o melhor desempenho da digestão anaeróbia se faz em condições mesofílicas, com temperatura variando na faixa de 29° C a 37° C.

Por outro lado, Dohanyos *et al.* (2004), estudando o aperfeiçoamento da digestão anaeróbia verificaram que a melhoria da digestão anaeróbia pode ser completada por diferentes métodos. O pré-tratamento do lodo, otimização das condições de processo e aumento da temperatura são, freqüentemente, utilizados. Zabranská *et al.*, (2002) destacaram o fato que o processo termofílico traz uma maior redução de sólidos e produção de biogás, uma alta resistência para espuma, nenhum problema com odor, melhor destruição de patógenos e incremento do balanço da energia na estação de tratamento como um todo, quando comparado com o processo mesofílico.

No entanto, de acordo com EPA (1982) a digestão termofílica não é um processo econômico pela necessidade de utilização de grande quantidade de energia e por apresentar uma instabilidade operacional maior.

No que se refere à importância crescente, no futuro próximo, da estabilização do lodo anaeróbio, a qual já é amplamente usada, Dohanyos *et al.* (2004) afirmam que estudos devem ser desenvolvidos para reduzir o volume de lodo que precisa ser armazenado e manuseado, facilmente, sem forte incômodos, como o odor, agregando a tecnologias que aumentem a destruição dos organismos patogênicos.

As idéias de Dohanyos *et al.* (2004) se afinam com Jordão e Pessoa (2005); Silva (1982) e EPA (1978) no que se refere à melhoria de tecnologias de estabilização e o seu reflexo na

- b) quantidade de alimento (os sólidos voláteis do lodo bruto e do lodo biológico, adicionados ainda a escumas, óleos e substâncias flutuantes, constituem o alimento das bactérias no interior dos digestores);
- c) carga orgânica por volume de digestor (deve-se determinar, criteriosamente, a carga de sólidos voláteis que são introduzidas no digestor por unidade de tempo - kgSTV/m³.d);
- d) mistura – homogeneização (a estabilização da matéria orgânica contida no lodo bruto só ocorrerá a partir do contato com as bactérias; quando existe homogeneização, ocorre um maior rendimento do digestor com maiores quantidades produzidas de biogás).

3.2.2.4 Controle operacional dos digestores

Resumidamente, pode-se dizer que as melhores condições ambientais que favorecem a atividade do digestor anaeróbio são as descritas na TAB.3.6.

TABELA 3.6
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. 3.7 mostra os principais parâmetros de projeto para um digestor primário.

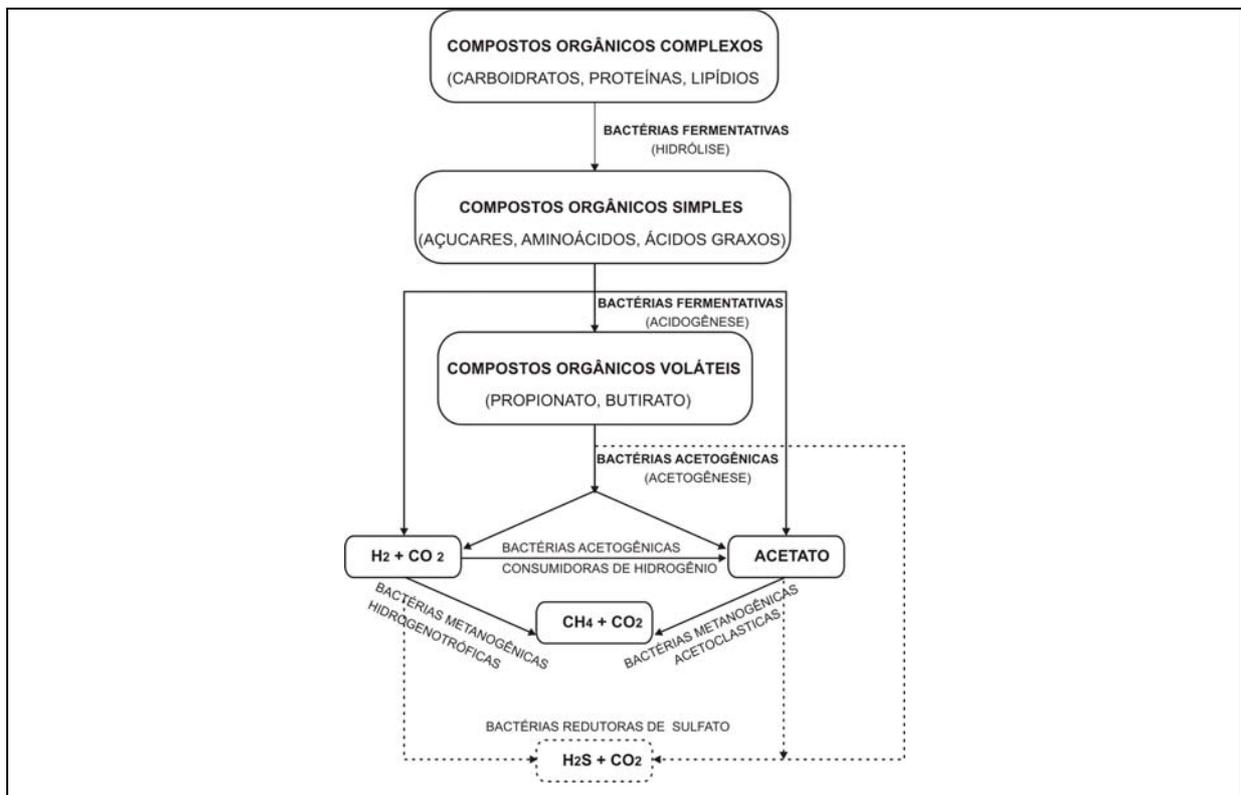


FIGURA 3.4 – Seqüência metabólica e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia

Fonte: CHERNICHARO, 1997, p. 25.

Na prática, a digestão é acelerada por processo de homogeneização do lodo digerido com o lodo cru, que permite a simultaneidade das fases caracterizadas da digestão anaeróbia (JORDÃO; PESSOA, 2005).

3.2.2.3 Fatores que afetam a digestão do lodo

Segundo SILVA (2002), diversos fatores interferem no bom desempenho operacional dos digestores anaeróbios de lodo, tais como:

- a) quantidade de bactérias presentes (o lodo digerido deve ser removido dos digestores em intervalos regulares, pois as bactérias presentes é que deverão processar o lodo fresco que é introduzido nos digestores – os modernos digestores já são construídos de tal modo que a retirada de lodo digerido é feita de maneira proporcional ao lodo bruto que é introduzido);

- b) acidogênese: os produtos solúveis da fase anterior são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidos em diversos compostos mais simples, os quais são excretados pelas células, entre eles: ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas;
- c) acetogênese: as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário, que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados nessa fase são o dióxido de carbono, hidrogênio e o acetato (CHERNICHARO 1997);
- d) metanogênese: os microorganismos metanogênicos são as responsáveis pela degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono. Elas utilizam um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função da afinidade por substrato podem ser divididas em dois grupos: acetoclásticas e hidrogenotróficas.

As rotas metabólicas podem ser representadas pela FIG. 3.4 (CHERNICHARO, 1997).

A FIG. 3.3 apresenta um desenho típico do funcionamento dos digestores anaeróbios primário e secundário.

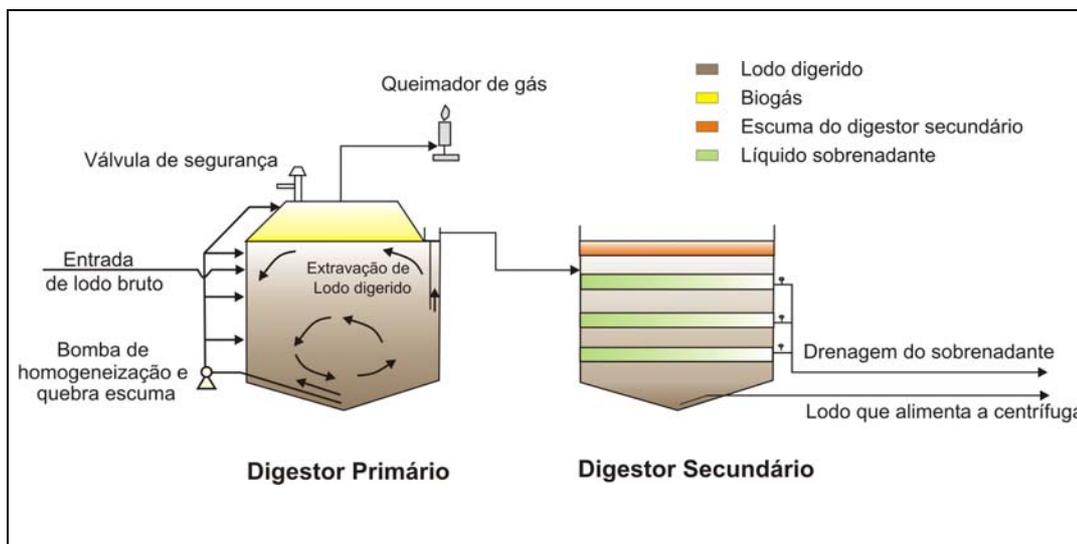


FIGURA 3.3 – Corte esquemático dos digestores de lodo

Pela figura observa-se que o digestor primário é um tanque fechado que possui válvulas de controle de pressão à vácuo e queimador do excesso de gás. Esse digestor apresenta-se em constante homogeneização e cada vez que recebe a carga de lodo bruto ele extravaza para o digestor secundário. Esse é um tanque aberto onde ocorrem dois fenômenos: sedimentação e liquefação. O lodo do fundo é encaminhado à centrífuga o líquido que constitui a camada de sobrenadante, retorna ao processo de tratamento.

3.2.2.2 Funcionamento dos digestores anaeróbios

O funcionamento dos digestores está vinculado à capacidade das bactérias anaeróbias e facultativas em estabilizarem as substâncias orgânicas complexas presentes no lodo.

Segundo Chernicharo (1997), o processo de digestão anaeróbia pode ser subdividido em quatro fases principais:

- a) hidrólise: ocorre a conversão de materiais particulados complexos (polímeros) em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores). Esse processo se faz através de bactérias fermentativas;

Os adensadores mecânicos rotativos conseguem, com a adição de polímero, uma captura de cerca de 95% dos sólidos afluentes de sistemas de lodos ativados, conseguindo um adensamento dos mesmos na concentração de 4 a 8%.

3.2.2 Estabilização do lodo

A estabilização dos lodos tem por objetivos principais a redução de microorganismos patogênicos e a eliminação de maus odores devido à redução parcial ou total do processo de putrefação, que atua sobre a matéria volátil. A estabilização permite que a água contida no lodo bruto se separe mais facilmente dos sólidos nos processos de desidratação e, além disso, reduz o volume de lodo a ser removido diariamente das Estações de Tratamento de Esgotos.

Os processos comumente usados para estabilizar lodos, são:

- a) digestão anaeróbia;
- b) digestão aeróbia;
- c) compostagem;
- d) tratamento químico;
- e) tratamento térmico.

3.2.2.1 Generalidades sobre a digestão anaeróbia de lodo

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).

Como conseqüência 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, 1982).

massa líquida. A sua maior aplicação acontece no adensamento de lodo excedente do processo de lodos ativados. O produto químico usualmente utilizado é o polímero por aumentar a captura de sólidos e a taxa de aplicação de sólidos na unidade de flotação. Sem polímero consegue-se atingir uma concentração em torno de 4% de sólidos.

Segundo a WPCF (1980), o adensador por flotação de ar dissolvido é comumente utilizado para lodo ativado, sólidos digeridos aerobicamente ou sólidos de aeração prolongada. A flotação por ar dissolvido, entretanto, não é usada para adensamento de lodo primário.

Conforme Metcalf & Eddy, Inc. (2003), o teor de sólidos do lodo secundário flotado pode atingir valores entre 3 e 6%.

3.2.1.4 Adensamento por centrifugação

Por sua vez, o adensamento por centrifugação, segundo Miki; Andrigueti; Alem Sobrinho, (2001), envolve a sedimentação das partículas do lodo sob a influência da força centrífuga. A utilização desse processo é benéfica apenas para o lodo biológico de descarte. Este adensamento, normalmente, utiliza a aplicação de polímeros.

3.2.1.5 Adensamento por adensador mecânico rotativo

Neste processo, o lodo excedente recebe a adição de polímero (cerca de 4 kg de polímero em pó por tonelada de sólido seco). Essa quantidade de polímero é aplicada em linha, a partir de uma emulsão de polímero na concentração em torno de 0,3% que é preparada em dosadores automáticos de polímero (WEF, 1992).

O adensador mecânico rotativo recebe o lodo já floculado e girando em rotação que varia de 5 a 20 rpm, permite a drenagem da água que atravessa um cilindro perfurado de aço inoxidável. Arranjos internos no cilindro perfurado e a inclinação adequada do mesmo permitem que o lodo adensado seja, continuamente, descarregado na extremidade contrária à entrada do líquido. Periódicos jatos de água no tambor perfurado permitem a sua lavagem e a desobstrução dos furos de drenagem.

bombeamento do lodo primário, obtendo uma melhor concentração de sólidos e utilizando uma bomba para cada dois decantadores (redução de custos operacionais).

Com relação às melhorias no processo unitário de adensamento por gravidade na ETE Barueri, fez-se necessário diminuir o tempo de detenção do lodo, que deve estar limitado a dois dias no máximo e diminuição do número de adensadores em operação para, no máximo, duas unidades, reduzindo assim, o tempo de retenção do lodo e elevando as taxas de aplicação superficial, sem a necessidade de adição de água de diluição.

A TAB. 3.5, a seguir, apresenta as características típicas dos lodo de uma ETE pelo processo de lodos ativados convencional e respectivas taxas de aplicação de sólidos, na qual estão incluídas também os valores máximos permitidos pela ABNT, para a concentração dos lodos em adensadores por gravidade.

TABELA 3.5

Parâmetros de projeto de adensadores pela taxa de aplicação de sólidos

Tipo de Lodo	Teor de sólidos (%)		Taxa de aplicação (kg SS/m ² .dia)	
	Lodo afluente	Lodo adensado	IWA/WEF	ABNT
Lodo Primário	2,0-7,0	5,0-10,0	100-150	<150
Lodo ativado convencional	0,5-1,5	2,0-3,0	20-40	<30
Lodo Misto				
Primário + Lodo Ativado	0,5-1,5	4,0-6,0	24-70	<50
Lodo Digerido				
Primário + Lodo Ativado	4,0	8,0	70	-

Fonte: Adaptado de JORDÃO; PESSOA, 2005, p. 295.

3.2.1.3 Adensamento por flotação

O adensamento por flotação consiste numa operação unitária para separar as partículas sólidas ou líquidas da fase líquida. Essa separação é conseguida através da introdução de bolhas de ar finamente divididas na fase líquida. Nesses sistemas, o ar é dissolvido em alta pressão, em seguida despreendido para a atmosfera (MIKI; ANDRIGUETI; ALEM SOBRINHO, 2001). Jordão e Pessoa (2005) acrescentam que as bolhas de gás aderem às partículas sólidas diminuindo sua densidade, de modo a promover o arraste ou flutuação, até a superfície da

TABELA 3.4

Problemas operacionais nos adensadores e correções propostas

Sintomas	Causas	Prevenção e Recuperação
Maus odores	Fermentação do lodo nos adensadores	Tirar um dos adensadores de operação diminuindo o tempo de detenção
	Excesso de lodo nos adensadores	Bombear lodo para os digestores com maior frequência
Baixa eficiência de captura dos sólidos	Tempo de retenção curto para adensamento de lodo	Colocar dois adensadores em operação Diminuir bombeamento de lodo primário

Fonte: Adaptado de SILVA, 2002, v. 4, p. 20.

Por sua vez, Chao (2001) desenvolveu uma pesquisa na ETE Barueri, em São Paulo, operada pela SABESP e elaborou um diagnóstico com estratégias de otimização dos adensadores por gravidade. A estação tem seu esgoto tratado pelo processo de lodos ativados convencional e teve sua vazão aumentada de 4 m³/s para 8 m³/s, no período de 1998 a 2000.

Procurando solucionar o problema da baixa concentração de sólidos no lodo adensado que tinha sido projetado para 7% e estava obtendo valores operacionais de 3% de concentração de sólidos provenientes dos decantadores primários, a autora elaborou um estudo das unidades envolvidas verificando nos decantadores primários uma forma contínua de bombeamento do lodo, impactos de revolvimento do lodo nos poços; ocorrência de lodo excedente retornado para os adensadores devido aos altos tempos de retenção de lodo nos mesmos, causados, principalmente, pela operação de um número excessivo dessas unidades.

Para melhoria operacional do sistema integrado de sedimentação e adensamento do lodo primário, Chao (2001) sugeriu a adoção de determinados procedimentos operacionais, tais como: diminuição da taxa de aplicação superficial nos decantadores primários, acarretando melhorias na sedimentabilidade e diminuição da probabilidade de arraste de sólidos para o efluente devido à baixa ocorrência de curto-circuitos; através de testes alterou o tempo de

de partículas em suspensão, e teor de sólidos do lodo a ser descartado compatível com seu destino final.

A FIG. 3.2 mostra um desenho típico dos adensadores por gravidade.

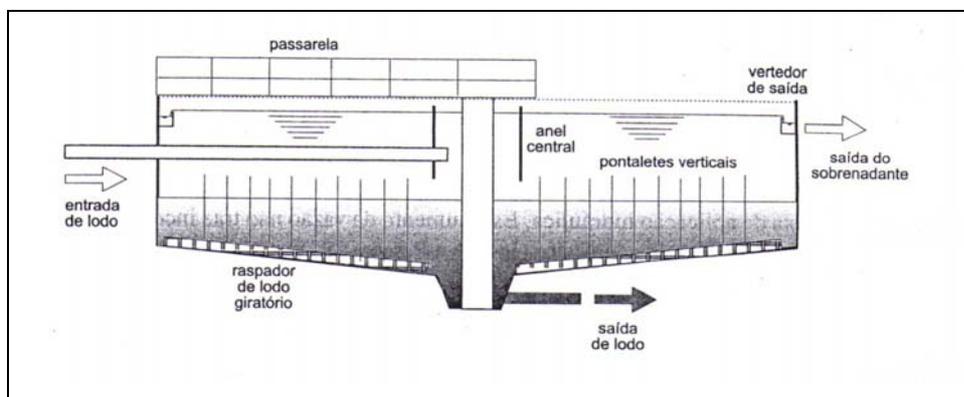


FIGURA 3.2 – Corte esquemático do adensador por gravidade

Fonte: GONÇALVES; LUDUVICE; VON SPERLING, 2001, p. 169.

Segundo Silva (2002), a avaliação de desempenho dos adensadores de lodo é feita em função da porcentagem de captura de sólidos pelos adensadores, que é calculada pela relação entre a carga de sólidos nos lodos afluentes e efluentes, expressa em termos de kg/dia.

Nos adensadores, ocorre a redução significativa de volume de lodo afluente que entra na unidade, por exemplo, lodo primário com 2% de sólidos ao ser bombeado para os digestores apresenta uma concentração de 6% de sólidos totais.

Silva (2002), estudando os adensadores da ETE Arrudas, constatou alguns dos problemas operacionais que podem surgir durante a operação normal dos adensadores, bem como suas correções e elaborou a TAB. 3.4, onde apresenta os sintomas do problema, a causa e a proposição de estratégias de prevenção e recuperação para melhor desempenho dos adensadores por gravidade.

Segundo Silva (1982), dentre os processos de concentração dos lodos mais usados, pode-se indicar as seguintes possibilidades:

- a) excesso de lodos ativados retorna ao processo antes dos decantadores primários e se sedimenta nestas unidades, sendo concentrados até uma concentração em torno de 5% de sólidos; o lodo recolhido nos decantadores primários é enviado aos adensadores por gravidade atingindo uma concentração de 6 a 8%;
- b) o excesso de lodos ativados removidos nos decantadores secundários, em algumas ETEs, é bombeado para adensadores por flotação, sendo concentrado em torno de 4% de sólidos, sem adição de polímero;
- c) o excesso de lodos ativados removidos nos decantadores secundários é bombeado para os adensadores mecânicos rotativos com adição de polímero, atingindo uma concentração aproximada de 4,5%.

3.2.1.2 Adensamento por gravidade

Segundo Jordão e Pessoa (2005), o adensamento faz parte da concepção do processo de tratamento da fase sólida, o qual contempla diversas unidades que devem operar de forma harmônica. Sua concepção e dimensionamento levam em conta não apenas a operação unitária em si, mas os objetivos do tratamento da fase sólida.

O processo mais tradicional inicia-se em tanques de sedimentação circulares equipados com braços raspadores. Ao entrar nesta unidade, o lodo sofre sedimentação e compactação. O lodo do fundo é encaminhado para unidade da digestão ou desaguamento, e o líquido sobrenadante escoado pelos vertedores periféricos e retorna para o início da estação (MIKI; ANDRIGUETI; ALEM SOBRINHO, 2001).

O dimensionamento dos adensadores por gravidade pode ser realizado em função de parâmetros convencionais ou através da determinação da curva característica de clarificação e adensamento. Em qualquer caso, deve-se buscar um efluente líquido com baixa concentração

TABELA 3.2

Processos de adensamento em função do tipo de lodo

Descrição do processo	Aplicações do lodo
Adensamento por gravidade	Lodo primário
	Lodos primário e secundário combinado
Flotação por ar dissolvido	Lodos secundários
Adensadores rotativos	Lodos secundários
Centrifugação	Lodos secundários

Fonte: Adaptado de EPA, 1978, p 79.

Esses lodos apresentam concentrações diferentes. Segundo Metcalf & Eddy, Inc. (2003), o lodo primário adensado no próprio decantador alcança concentrações de sólidos que variam de 4 a 12%. Esses valores são válidos para decantadores retangulares e podem ser vistos na TAB. 3.3.

TABELA 3.3

Informação típica da densidade e concentração do lodo de tanques de decantação primária

Tipo de lodo	Densidade	Concentração de sólidos (% ^a)	
		Faixa	Típico
Primário somente:			
Sanitário	1,03	4 -12	6
Combinado	1,05	4 -12	6,5
Primário e lodo ativado	1,03	3 -10	4
Primário com filtro biológico aeróbio	1,03	4 - 10	5

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY, INC., 2003.

^a Porcentagem de sólidos secos

Os lodos primário e secundário, também designados como não digeridos ou mistos, após a fase de adensamento são encaminhados para a fase da digestão.

A experiência tem demonstrado que as características de adensamento do lodo de esgotos variam, consideravelmente, não só entre diferentes tipos de lodo, mas, entre os mesmos tipos de lodo de diferentes localidades. Essas variações podem ser causadas por diversas razões, tais como, variações das propriedades físicas das partículas sólidas, tipo e volume do esgoto industrial tratado, tipos e condições de operações, processos de tratamento de esgotos ou manuseio das práticas anteriores ao adensamento (WPCF, 1980).

3.2.1.1 Generalidades do adensamento do lodo

Segundo a Water Pollution Control Federation (1980) o adensamento por gravidade é, freqüentemente, o primeiro passo da maioria dos sistemas de gerenciamento do lodo.

O objetivo primário do adensamento é reduzir o volume de lodo e aumentar a eficácia do manuseio do lodo subsequente ou dos processos de tratamento tais como: a estabilização do lodo, desidratação ou transporte (EPA, 1978; WPCF 1980).

As unidades de adensamento do lodo são conhecidas como adensadores, espessadores, ou tanques de sedimentação em massa. A ABNT recomenda o emprego da expressão “adensadores” (ABNT, 1992 *apud* JORDÃO; PESSOA, 2005).

Os processos unitários mais comumente associados com adensamento de lodo de esgoto são:

- a) adensamento por gravidade;
- b) flotação por ar dissolvido;
- c) adensamento mecânico rotativo;
- d) centrifugação.

Para lodos secundários, as unidades de adensamento de lodo por gravidade não são as melhores e vem sendo substituídas por unidades de adensamento mecanizado ou por flotação, com melhores eficiências.

A TAB. 3.2 apresenta as aplicações freqüentes de processo de adensamento.

3.2 O processo de gerenciamento do lodo

Segundo von Sperling (1997), o tratamento do lodo é parte integrante do processo de lodos ativados. Portanto, o fluxograma da estação somente pode ser completo se incluir as etapas relacionadas com o tratamento e disposição final dos subprodutos gerados no tratamento. 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 e posteriormente desidratado. As principais etapas do tratamento do lodo são:

- a) adensamento;
- b) estabilização;
- c) condicionamento;
- d) desidratação;
- e) disposição final.

3.2.1 Adensamento do lodo

A sedimentação por gravidade é o método de separação de líquido e sólido mais comum no tratamento de estações de esgoto (WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION – WPCF, 1980).

Quando a separação é feita objetivando a remoção de sólidos do líquido, o processo é denominado clarificação e, quando o requisito primário é a produção de lodo concentrado, o processo é denominado adensamento.

Apesar dos dois processos ocorrerem, simultaneamente, em qualquer tanque de sedimentação, o processo é denominado clarificação e adensamento, dependendo de sua função primária.

Lodos produzidos no tratamento de esgotos são, na maioria dos casos, flocculentos por natureza, não podendo adensar prontamente em altas concentrações.

TABELA 3.1

Característica e quantidade do lodo produzido em vários processos de tratamento

Sistema	Teor de sólidos secos (%)	Massa de lodo (gSS/hab.d)	Volume de lodo (L/hab.d)
Lodos ativados convencional			
Lodo primário	2- 6	35- 45	0,6- 2,2
Lodo secundário	0,6- 1	25 - 35	2,5 – 6,0
Total	1 - 2	60 - 80	3,1 – 8,2
Lodos ativados – aeração prolongada			
	0,8 – 1,2	40 - 45	3,3 – 5,6
Filtro biológico de alta carga			
Lodo primário	2- 6	35- 45	0,6- 2,2
Lodo secundário	1 – 2,5	20 - 30	0,8 – 3,0
Total	1,5 – 4,0	55 - 75	1,4 – 5,2
Biofiltro aerado submerso			
Lodo primário	2- 6	35- 45	0,6- 2,2
Lodo secundário	0,6 - 1	25 - 35	2,5 – 6,0
Total	1 - 2	60 - 80	3,1 – 8,2
Reator UASB			
	3 - 6	12 - 18	0,2 – 0,6

Fonte: Adaptado de VON SPERLING; GONÇALVES, 2001, p. 31.

Pela TAB. 3.1 verifica-se que o reator UASB é o sistema que produz menor volume de lodo por habitante por dia, seguido, em ordem crescente, pelos processos de filtro biológico de alta carga, lodos ativado aeração prolongada, lodos ativados convencional e biofiltros aerados submersos.

Em um sistema de lodos ativados, a quantidade típica que se refere à produção de lodo é de 50 gramas por dia para cada habitante (METCALF & EDDY, INC., 1991).

Por outro lado, von Sperling e Gonçalves (2001) estudando a produção de lodos em ETES para diferentes processos de tratamento constataram que a produção de lodo no processo de lodos ativados convencional é de 60- 80 g SS por dia, para cada habitante.

CHERNICHARO, 1997; FRANCI, 1996, 1999; JORDÃO; PESSOA, 1995; METCALF & EDDY, 1991; QASIM, 1985 *apud* VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

O lodo secundário é aquele originado nos processos de conversão biológica de tratamento por lodos ativados e separados nos decantadores secundários. Seu adensamento é mais difícil de ser realizado, geralmente, é feito nos adensadores por flotação no qual atingem uma concentração de sólidos na faixa de 3 a 6%.

A FIG. 3.1 mostra as unidades geradoras de lodo no processo lodos ativados convencional.

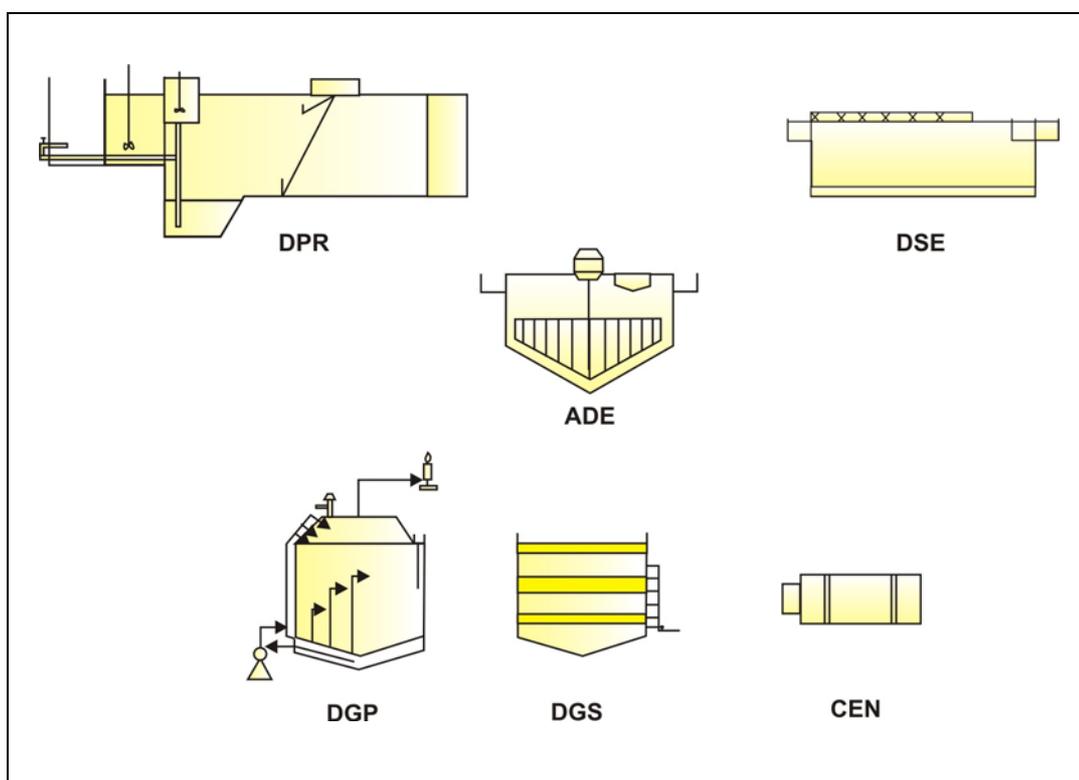


FIGURA 3.1 – Unidades geradoras de lodo de uma estação de lodos ativados convencional

A TAB. 3.1 apresenta os valores de produção de lodos para alguns dos processos de tratamento de esgotos mais comuns.

A CETESB (1999) adotou as mesmas recomendações da EPA 40 CFR Part. 503, quanto aos limites de metais pesados e patógenos. Tsutiya (2001a) acrescenta que o biossólido pode ser classificado em Classe A quando não há nenhuma restrição ao uso e Classe B quando apresenta algumas restrições em função da cultura e das atividades na área de aplicação de biossólido.

Existe, em andamento, no Brasil, a Resolução CONAMA para regulamentação do uso agrícola do lodo de esgoto, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao meio ambiente. A presente pesquisa enfatiza o tratamento do lodo nas suas unidades específicas, portanto, o lodo como biossólido não é objeto dessa dissertação, maiores detalhes seriam possíveis como potencial de futura investigação.

3.1.3 Geração dos lodos de esgotos

O tratamento dos esgotos consiste em separar, da fração líquida, a fração sólida e tratar líquidos e sólidos provenientes dessa separação, de maneira a diminuir o quanto possível a carga poluidora.

Devido ao seu alto teor de água 99,92% (JORDÃO; PESSOA, 2005) esses lodos devem ser concentrados e tratados para serem mais facilmente manuseáveis.

Para cada processo de tratamento adotado na ETE, o lodo pode ser submetido a diferentes tipos de processamento, o que resulta em variações de características físicas e químicas no lodo final. O tratamento da fase sólida inicia-se nos adensadores por gravidade. Este tipo de adensamento foi adotado na Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas.

Os lodos gerados no tratamento de esgotos são geralmente classificados conforme a fase do tratamento em que foram originados. Assim, são designados como lodo primário, secundário ou terciário.

O lodo primário é originado no decantador primário. A concentração de sólidos situa-se na faixa de 2 a 6%, sendo comum concentrações em torno de 3%. (AISSE *et al.*, 1999;

tratamento que antecede o processo de lodos ativados produz menos lodo quando comparado com o tratamento químico avançado (RULKENS 2004).

No Brasil, segundo Andreoli e Pinto (2001), a produção de lodo está estimada entre 150 mil e 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Devido aos baixos índices de coleta e tratamento de esgoto ainda existentes no país e à pressão da sociedade por melhores condições ambientais, há uma potencial tendência de ocorrer um incremento substancial da quantidade de lodo a ser disposto na próxima década.

3.1.2 Aspectos legais sobre o tratamento de esgotos e tratamento do lodo no Brasil

A legislação brasileira de qualidade das águas (Resolução CONAMA nº 357, de março de 2005) é baseada em padrões de lançamento e padrões dos corpos d'água. Em um trabalho de von Sperling (1998) foi estudada uma associação entre a legislação brasileira de qualidade da água e a seleção de processos de tratamento de esgotos considerando alguns parâmetros de importância para esgoto doméstico que são: DBO, amônia, fosfato e coliformes.

Com relação ao lodo a norma CETESB (1999) para aplicação de biossólidos provenientes de tratamento biológico para disposição em áreas agrícolas, a classificação do lodo é feita da seguinte maneira:

- a) Classe A: o lodo deve atender aos seguintes limites para a densidade dos organismos especificados:
 - para coliformes fecais, densidade inferior a 10^3 NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais) e
 - para *Salmonella* sp. densidade inferior a 3 NMP/4g ST (Número Mais Provável por 4 gramas de Sólidos Totais);
- b) Classe B: um lodo é classificado como classe B se a densidade de coliformes fecais do mesmo for inferior a 2×10^6 NMP/g ST.

tratamento do lodo (ENGLAND JR.; REIMERS, 2001; ØDEGAARD; PAULSRUD; KARLSSON, 2002 *apud* RULKENS, 2004).

Para ØDEGAARD (2004) existe o fato que nos últimos anos o tratamento de esgotos vem se expandindo em países desenvolvidos e em desenvolvimento, o que implica numa necessidade de se preparar para um aumento global na produção de lodo. Essa situação, mais as preocupações sociais e ambientais da disposição do lodo, têm levado ao interesse por processos que reduzem a produção de lodo excedente, bem como, tecnologias de minimização.

Muitos processos são avaliados com este propósito. Alguns são focados na redução na quantidade de lodo produzido em uma estação, tais como:

- a) tratamento do lodo por ozônio combinado com oxidação microbiológica aeróbia do lodo tratado no sistema de lodo ativado. É um processo que vem sendo utilizado na prática, reduz a quantidade de lodo, mas requer energia (EGEMEN; COPERNING; NIRMALAKHADAN, 2001);
- b) uso, no filtro biológico, de organismos maiores como protozoários e metazoa. Esse processo ainda está em estágio de desenvolvimento no laboratório (RENSINK E RULKENS, 1997). Algumas metazoas podem ser usadas na redução da quantidade de lodo produzido. Junto a isto, proteínas podem ser extraídas desses organismos, as quais tornam esse processo atrativo.

Segundo Rulkens (2004), a quantidade de lodo pode ser consideravelmente reduzida por desidratação mecânica do lodo ou por secagem de lodo. A desidratação mecânica do lodo pode ser precedida por um condicionamento adequado de lodo tal como coagulação/floculação ou oxidação úmida. Muitas modificações em todos estes processos já são, na prática, aplicadas em todo o mundo. Atualmente, dentre os muitos processos inovadores que já foram avaliados mas que, correntemente, ainda não foram aplicados em larga escala, ou os quais ainda estão em estágio de desenvolvimento, se destaca a desidratação eletrosmótica.

Com relação à produção de lodo o tratamento primário avançado com adição de produtos químicos gera um aumento na produção de lodo, além de elevados custos operacionais. O

3.1 O lodo

3.1.1 Aspectos sobre a realidade do lodo no Brasil e no mundo – panorama geral

De acordo com Rulkens (2004), nos últimos anos, os desenvolvimentos das estratégias de tratamento de esgoto municipal têm contado com dois aspectos: o primeiro, relacionado com o esforço de se aprimorar a qualidade do efluente por meio de melhoramentos de estações existentes, elaborando e implementando tratamentos mais eficazes. O segundo aspecto está relacionado ao aumento da conscientização dos problemas associados com o lodo de esgoto produzido durante o processo de tratamento.

A conscientização crescente sobre os riscos para o ambiente e para a saúde humana do uso original do lodo na agricultura como fertilizante e as políticas locais, regionais e nacionais sobre o gerenciamento do lodo tem levado pesquisadores a buscar soluções que possam aprimorar o tratamento de esgoto.

Neste contexto, a praticidade atual de gerenciamento do esgoto tem mudado, consideravelmente, durante os últimos anos. A produção aprimorada do biogás, o processo avançado de desidratação do lodo, os aterros sanitários controlados e os processos térmicos têm sido aplicados cada vez mais na prática.

Esses aprimoramentos no processo de tratamento do lodo são acompanhados de um aumento nos seus custos de tratamento, representando muitas vezes mais do que 50% em gastos operacionais de uma estação de tratamento (RULKENS, 2004).

As idéias discutidas por Rulkens (2004) se alinham com as de Fernandes e Souza (2001) e Alem Sobrinho (2001) quando esse enfatiza que a solução do problema do lodo gerado no tratamento da fase líquida do esgoto é tão ou mais complexa do que o tratamento do esgoto propriamente dito e em algumas ETEs chega a representar mais da 50% do custo do tratamento total, quando incluída a disposição final de lodo.

Esse alto custo e a urgência de se desenvolver cenários sustentáveis de tratamento do lodo têm gerado um aumento de pesquisas que buscam processos inovadores e mais sustentáveis de

3 REVISÃO DA LITERATURA

A apresentação da revisão bibliográfica está dividida em três partes. A primeira traz um conhecimento do panorama geral da situação do lodo no Brasil e no mundo, aspectos legais sobre o seu tratamento e descreve sobre a geração dos lodos de esgotos. A segunda trata das características do gerenciamento do lodo, processo de estabilização e suas características após passar por diversas etapas do tratamento. Finalmente, a terceira parte trata dos fundamentos e conceitos principais do processo de lodos ativados convencional comparando com outros processos.

O esgoto sanitário é composto de mais de 99,9% de água, sendo o restante (inferior a 0,1%) composto de matéria orgânica em suspensão e dissolvida (em estado coloidal e em solução), orgânica e inorgânica, bem como microorganismos (MIKI; ANDRIGUETI; ALEM SOBRINHO, 2001). O termo lodo é utilizado para sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgotos, antes do tratamento adequado para disposição final, e que vem ganhando cada vez mais importância devido ao aumento do número de estações e às exigências dos órgãos ambientais e de saúde pública. Segundo von Sperling e Andreoli (2001), o termo lodo tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos.

O lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos sanitários, processados de modo a permitir seu manuseio de forma segura na utilização agrícola, é denominado biossólido. Para Water Environment Federation – WEF (1996) o biossólido também pode ser usado para outros usos benéficos (TSUTIYA, 2001a).

O termo biossólido é uma forma de ressaltar seus aspectos benéficos, valorizando a utilização produtiva, em comparação com a mera disposição final improdutiva, por meio de aterros, disposição superficial no solo ou incineração (VON SPERLING; ANDREOLI, 2001).

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

Analisar o comportamento do lodo e das unidades componentes do tratamento da fase sólida da ETE Arrudas.

2.2 *Objetivos específicos*

- a) analisar as características dos lodos da ETE Arrudas nas suas diversas fases operacionais;
- b) verificar o desempenho da estação através da influência das taxas de aplicação nas unidades de tratamento do lodo;
- c) verificar as interações dos parâmetros físico-químicos caracterizadores da fase sólida;
- d) elaborar o balanço de massa do sistema e a influência das mudanças operacionais no tratamento do lodo.

- estudo da concentração de sólidos ao longo do sistema,
 - avaliação do comportamento das unidades de tratamento do lodo,
 - balanço de massa do sistema nas três fases de operação;
- d) os capítulos 7 e 8 apresentam, respectivamente, as conclusões e as recomendações.

- sobrenadante dos adensadores, com excessiva carga de sólidos, retornando aos decantadores primários, gerou uma espessa camada de espuma, causando odores desagradáveis na Estação,
- ocorreu sensível queda na eficiência dos decantadores primários em termos de remoção de sólidos e DBO.

Na 3ª fase, o lodo primário passou a ser concentrado nos próprios decantadores e, juntamente com a espuma primária, passou a ser bombeado, diretamente, para os digestores. O adensador por gravidade começou a receber e concentrar somente o lodo secundário excedente. Essas providências produziram efeitos satisfatórios, acarretando o desaparecimento dos maus odores e voltando os decantadores primários a terem suas eficiências de projeto. A 3ª fase continua em operação normal até os dias atuais.

Todos os dados técnicos, rotinas operacionais e resultados das análises físico- químicas levantadas pela COPASA são anotados, diariamente, em fichas operacionais. Os dados utilizados para o presente trabalho foram dados secundários gerados pela COPASA.

Dentro do enfoque descrito, o estudo constou do seguinte:

- a) no capítulo 3 é apresentada a revisão da literatura sobre aspectos gerais do lodo no Brasil e no mundo além de um estudo do gerenciamento do lodo. A seguir é descrito sobre o processo lodos ativados convencional;
- b) no capítulo 4 é feita a descrição detalhada da Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas, completando com uma tabela de dimensões das unidades, parâmetros de projeto e *lay out* da Estação.
- c) no capítulo 5 é apresentada a metodologia utilizada para a avaliação do tratamento do lodo da ETE Arrudas;
- d) o capítulo 6 constitui a essência da dissertação e abrange os resultados e discussões da seguinte maneira:
 - estatísticas descritivas,

A ETE é operada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, sendo supervisionada com o subsídio de análises físico-químicas, que são realizadas nos laboratórios central e da própria Estação.

A Estação passou por três diferentes fases operacionais, no que se refere ao adensamento dos lodos, desde sua implantação. A TAB. 1.1 apresenta as fases a serem pesquisadas.

TABELA 1.1
Três fases de produção de lodo ocorridas na ETE Arrudas

Fases	Tratamento	Período	Característica
1ª	Somente tratamento primário	18 out/2001 31dez/2002	Lodo primário concentrado no adensador por gravidade e bombeado para o digestor.
2ª	Tratamento secundário	1 jan/2003 9 ago/2004	Lodo primário e lodo secundário concentrados, conjuntamente, no adensador por gravidade e bombeados para o digestor.
3ª	Tratamento secundário	10 ago/2004 30 jun/2005	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.

Com base na TAB. 1.1, pode-se caracterizar as fases de operação da seguinte maneira:

- a) a 1ª fase corresponde, exclusivamente, ao tratamento primário;
- b) a 2ª fase caracterizou-se pela operação do tratamento secundário, conforme previsto no projeto original da ETE;
- c) a 3ª fase surgiu devido aos seguintes problemas ocorridos durante a operação da 2ª fase:
 - houve sensível queda na concentração do lodo misto adensado que era bombeado para os digestores anaeróbios,

1 INTRODUÇÃO

A Estação de tratamento de esgotos do Arrudas trata os esgotos gerados na Bacia do Arrudas, em Belo Horizonte – MG. A ETE localiza-se junto à região de Marzagânia, nas proximidades da divisa dos municípios de Belo Horizonte e Sabará. A área da ETE possui 63 ha e situa-se à margem esquerda do Ribeirão Arrudas, sendo delimitada a Oeste pela Ferrovia do Aço, ao Norte e Leste pela linha de Alta Tensão da CEMIG e ao Sul pelos trilhos da Rede Ferroviária Federal.

A FIG. 1.1 mostra a localização da Estação, face ao esquema das bacias de drenagem de Belo Horizonte.

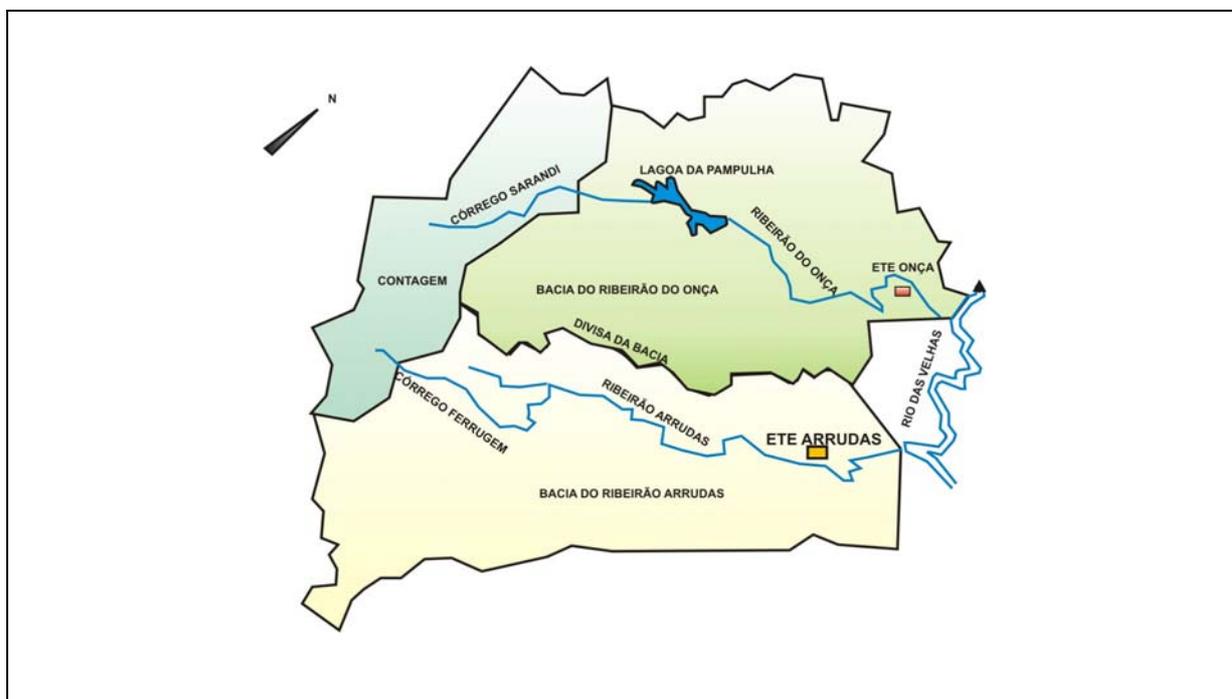


FIGURA 1.1 –Localização da ETE Arrudas na bacia de drenagem de Belo Horizonte– MG.

A Estação entrou em operação em outubro de 2001 com o tratamento primário e em janeiro de 2003 com o tratamento secundário pelo processo lodos ativados convencional. O tratamento primário foi construído para atender a uma vazão média de fim de plano de 4,5 m³/s, ao passo que o tratamento secundário foi implantado para uma vazão inicial de 2,25 m³/s. A capacidade da Estação corresponde a uma população de 1,6 milhões de habitantes na fase final.