

**II-042 - AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SAZONALIDADE NO DESEMPENHO DE ETE EM ESCALA REAL COMPOSTA POR LAGOA FACULTATIVA E LAGOA DE MATURAÇÃO, COM 20 ANOS DE OPERAÇÃO**

**Ricardo Gomes Passos<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

**Daniel Filipe Cristelo Dias**

Licenciado em Engenharia Civil pela Universidade do Algarve (Portugal). Mestrado em Geotecnia e Ambiental, no Programa de Mestrado em Engenharia Civil, pela Universidade da Beira Interior (Portugal). Doutorado em Saneamento no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais.

**Laura Marcela Vargas Lopez**

Engenheira Civil pela Universidad Industrial de Santander (Colômbia). Mestre em Engenharia Civil pela Universidad de los Andes (Colômbia). Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Déborah de Freitas Melo**

Engenheira Bioenergética pela Universidade FUMEC. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Marcos von Sperling**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College (Universidade de Londres). Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Antônio Carlos 6627 – Escola de Engenharia, Bloco 1 – sala 4622; 31270-901 – Belo Horizonte - MG, Brasil - e-mail: [ricardogpassos@yahoo.com.br](mailto:ricardogpassos@yahoo.com.br).

**RESUMO**

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins – MG (AITN) realiza o tratamento dos efluentes gerados em todo o complexo aeroportuário, incluindo áreas administrativas, operacionais, hangares e o efluente sanitário das aeronaves. O sistema entrou em operação em 1984 e é composto por unidades de tratamento preliminar, medição de vazão e um sistema de lagoas, composto de uma lagoa de estabilização facultativa seguida de uma lagoa de maturação. O lodo das lagoas nunca foi removido. A ETE atualmente opera em condições de subcarga e de elevado tempo de detenção hidráulica (TDH), mas apresenta variações consideráveis na eficiência de remoção de alguns parâmetros. O objetivo deste trabalho é apresentar uma análise de longo período (20 anos) dos dados de monitoramento da ETE Confins-MG com vistas à avaliação do efeito da sazonalidade no desempenho do sistema e sua significância, aspecto este ainda não contemplado nos estudos anteriores. A análise e interpretação dos dados tiveram por suporte a estatística descritiva e os testes estatísticos de hipóteses e correlação. Há de se ressaltar que a região onde está localizada a ETE é reconhecidamente de clima tropical, com períodos de altas e baixas temperaturas e duas estações bem distintas (uma chuvosa e outra seca), tornando possível a separação dos dados por sazonalidade. De forma geral, não foram observadas diferenças significativas para as concentrações afluentes, efluentes e eficiências de remoção da ETE entre os períodos “seco” (abril a setembro) e “chuvoso” (outubro a março), sugerindo que outros fatores, que não os climáticos, podem ter maior influência no desempenho de lagoas com condições operacionais semelhantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sazonalidade, avaliação de longo período, desempenho, lagoas de estabilização.

## INTRODUÇÃO

Lagoas de estabilização são sistemas naturais de tratamento de esgotos de ampla aplicabilidade em diversas regiões, principalmente em países de clima tropical. Suas principais vantagens estão relacionadas à simplicidade conceitual e operacional e suas principais limitações as grandes áreas necessárias para implantação (MARA, 2003; VON SPERLING E CHERNICHARO, 2005; SHILTON, 2005). As lagoas facultativas e de maturação são variantes desse tipo de sistema, sendo as primeiras geralmente pensadas para remoção de matéria orgânica e as segundas para polimento do efluente quanto à remoção de patógenos.

O desempenho das lagoas de estabilização facultativa e de maturação pode estar relacionado a diversos fatores, desde as condições climáticas e a própria qualidade do afluente até a configuração geométrica das unidades. Nesse sentido, diversas são as pesquisas com o intuito de avaliar o desempenho de lagoas e identificar os principais fatores que interferem ou que podem interferir na eficiência desses sistemas. Dentre esses fatores, a sazonalidade pode influenciar consideravelmente o desempenho do sistema; na medida em que condições climáticas como radiação solar, temperatura, ventos predominantes e regimes de chuvas estão intimamente ligados à eficiência dos processos biológicos que ocorrem nas lagoas. Naval *et al.* (2002) apresentam breve discussão sobre os mecanismos de influência de algumas dessas condições nas lagoas:

- **Radiação solar:** a fotossíntese depende da radiação solar, e esta varia principalmente com a latitude do lugar e com a transparência da atmosfera, portanto, regiões mais próximas da linha do equador, onde a incidência solar é maior, compreendem locais mais favoráveis ao seu desempenho operacional de lagoas.
- **Temperatura:** fator de extrema importância, pois tem relação direta com a intensidade de ocorrência das reações biológicas e químicas em todos os sistemas naturais e controlados. A temperatura ótima para a produção de oxigênio é de 20°C e os limites mínimo e máximo se situam entre 4°C e 35°C. Abaixo de 4°C ocorre paralisação quase que completa da atividade das algas e das bactérias. Acima de 35°C, as algas úteis não têm mais condições de sobrevivência, enquanto que as bactérias tendem a consumir mais oxigênio. Também poderão aparecer condições de anaerobiose durante os dias muito ensolarados dos climas quentes. Temperaturas elevadas favorecem o desenvolvimento de algas cianofíceas (cianobactérias), com possibilidade de aparecimento de mau cheiro.
- **Ventos:** provocam agitação de efeito benéfico sobre a homogeneização do conteúdo da lagoa, com dispersão dos sólidos e distribuição uniforme do oxigênio dissolvido. A ação do vento pode resultar em tensões suficientes para assegurar a circulação vertical, com manutenção de condições estritamente aeróbias. A ação de ondas depende estreitamente das dimensões da superfície livre, sendo tanto maior quanto maior for a extensão da lagoa na direção do vento.
- **Evaporação:** é a perda de água; o que provoca maior concentração de substâncias poluidoras. Se seu efeito for considerável, o substrato concentrado acima de determinado valor pode resultar em salinidade prejudicial ao equilíbrio osmótico da matéria celular. A evaporação está intimamente ligada às condições climáticas locais, dependendo principalmente dos ventos, grau higrométrico do ar e da temperatura da água e do ar.
- **Precipitação:** os eventos de chuvas agem em sentido contrário ao da evaporação, podendo provocar diluição do conteúdo da lagoa.

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins – MG (AITN) realiza o tratamento dos efluentes gerados em todo o complexo aeroportuário por meio de um sistema de lagoas, composto de uma lagoa de estabilização facultativa seguida de uma lagoa de maturação. Estudos já realizados por Passos *et al.* (2014b) relatam que, na perspectiva dos parâmetros de projeto (TDH e carga), a ETE encontra-se superdimensionada, mas ainda assim apresenta eventos de baixa eficiência na remoção de alguns parâmetros. Os mesmos autores apresentaram caracterização do efluente que chega à ETE, registrando que o mesmo não possui características de efluentes industriais que possam prejudicar o tratamento (PASSOS *et al.*, 2013). Avaliação do acúmulo/distribuição do lodo e avaliação hidrodinâmica desse sistema também foram realizadas por Passos *et al.* (2014b) e Passos *et al.* (2014a),

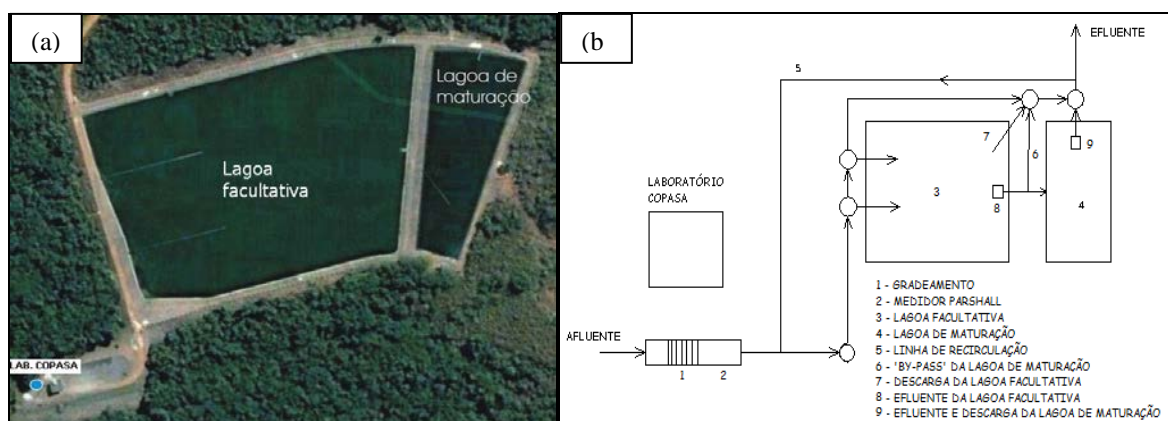
respectivamente, não tendo esses trabalhos apontado relação evidente desses fatores com os eventos de baixa eficiência nas lagoas.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação de longo período dos dados de monitoramento da ETE (20 anos) com vistas ao efeito da sazonalidade no desempenho do sistema e se tal efeito é ou não significativo para o caso em questão; aspecto ainda não contemplado nos estudos anteriores. Há de se ressaltar que a região onde está localizada a ETE é reconhecidamente de clima tropical, com períodos de altas e baixas temperaturas e duas estações bem distintas (uma chuvosa e outra seca), tornando possível a separação dos dados por sazonalidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Descrição do local de estudo

A ETE que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), em Confins – MG (ETE Confins) realiza o tratamento dos efluentes de todo o complexo aeroportuário a nível secundário. O sistema é composto por tratamento preliminar (grade manual), medição de vazão (calha Parshall), seguido de uma lagoa facultativa e lagoa de maturação (Figura 1a e 1b), e está em funcionamento desde o início da operação do aeroporto (1984). O lodo das lagoas nunca foi removido e ocupa, em média, 25 e 18% do volume útil das lagoas facultativa e de maturação, respectivamente (PASSOS *et al.*, 2014b).



**Figura 1: (a) Vista aérea das lagoas facultativa e de maturação na ETE Confins (Fonte: Google Earth, 2012) e (b) Fluxograma geral.**

A lagoa facultativa e a lagoa de maturação apresentam como principais dimensões e características os valores apresentados na Tabela 1;

**Tabela 1: Principais dimensões e características das lagoas facultativa e de maturação.**

	LAGOA FACULTATIVA	LAGOA DE MATURAÇÃO
Formato: Trapezoidal	Arestas de 118, 190, 120 e 145m	Arestas de 118, 118, 48 e 20m
Relação comprimento/largura	~ 1,4	~ 3,5
Área do espelho d'água	2,39 ha	0,47 ha
Área de fundo	1,99 ha	0,36 ha
Inclinação dos taludes internos	1 : 2,5	1 : 2,5
Volume máximo da lagoa	55000 m <sup>3</sup>	5105 m <sup>3</sup>
Profundidade (mín - máx) de operação	1,90 – 2,90m	0,65 – 1,25m
Profundidade de operação atual	2,90m	1,20m
Borda livre acima do NA máximo	0,50 m	0,50 m

### Análise estatística dos dados de monitoramento

A avaliação de desempenho do sistema foi realizada por meio da análise estatística de dados de monitoramento compreendidos entre os anos de 1994 e 2013. Os dados foram fornecidos pela COPASA (Companhia de

Saneamento de Minas Gerais), empresa que opera a ETE, e contempla resultados de análises de variáveis físicas, químicas e microbiológicas do esgoto.

A programação do monitoramento realizado pela COPASA variou ao longo dos anos (parâmetros monitorados, frequência), mas, de forma geral, compreendeu coletas semanais (amostragem simples) para pH e oxigênio dissolvido e coletas mensais ou quinzenais (amostragem composta) para os demais parâmetros, como DBO total, DQO total, ST, SST, SSF, SSV, sólidos sedimentáveis, coliformes termotolerantes ou *E. coli*, cloreto, nitrogênio total e amoniacal, fósforo total, óleos e graxas, detergentes, alcalinidade, (amostragem composta). Os procedimentos da empresa para coleta de amostras do efluente seguiram as diretrizes da ABNT - NBR - 9898 - “Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores” e da ABNT NBR ISO IEC 17025:2005 - Item 5.7.1 - Nota 1. “*Amostragem: Procedimento definido, pelo qual a parte de uma substância, material ou produto é retirado para produzir uma amostra representativa do todo, para ensaio ou calibração*”. As análises foram realizadas de acordo com *Standard Methods for Water and Wastewater* 21<sup>a</sup> ed. (2005).

Neste trabalho foram analisados dados brutos da entrada e saída do sistema (afluente à lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação) para as variáveis de qualidade relacionadas à matéria orgânica (DBO e DQO), microbiologia (*E. coli*) e nutrientes (nitrogênio amoniacal e fósforo total). Também foram considerados todos os registros de vazão afluente para o período e dados relacionados às condições ambientais nas lagoas (oxigênio dissolvido e pH).

Registros climatológicos foram considerados na definição dos períodos denominados “seco” e “chuvoso”. Tais registros compreendem dados mensais entre os anos de 1991 e 2010 das variáveis “temperatura do ar” (máxima, mínima e média), “precipitação”, “umidade relativa”, “nebulosidade” e “ventos predominantes”. Os dados foram obtidos junto à torre de controle do aeroporto (Comando da Aeronáutica – Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo – Divisão de Meteorologia Aeronáutica). De posse dos dados de monitoramento tabulados e conhecimento dos períodos considerados “seco/frio” e “chuvoso/quente”, todos os dados foram segregados tal como proposto.

A análise e interpretação dos dados tiveram por suporte a estatística descritiva e os testes estatísticos de hipóteses. Dados brutos (tanto na forma original quanto os já separados por períodos) foram tratados por meio da estatística descritiva (obtenção dos percentis 10, 25, 75 e 90; medidas de variação: variância, desvio padrão e coeficiente de variação; tendência central: média aritmética, geométrica, mediana e moda; histogramas de frequência; séries temporais; gráficos *box plot*; medidas de assimetria e curtose), analisados para identificação de *outliers* (método da amplitude interquartis) e também testados estatisticamente quanto à normalidade (teste de aderência *Shapiro-Wilk*; considerado o melhor entre quatro testes de normalidade para dados simétricos e assimétricos comparados entre si por Razali e Wah, 2011), antes da definição dos testes de hipóteses a serem aplicados. Tais testes foram então utilizados para comparação entre grupos amostrais dos diferentes períodos (período seco/frio e período chuvoso/quente), tanto em termos de concentrações quanto em termos de eficiência de remoção. Em dados com distribuição normal foi aplicado o teste *t* de *Student* para amostras independentes, para avaliar se havia diferenças significativas entre os valores médios nos dois períodos analisados (dois grupos independentes). Da mesma maneira, para a comparação entre as medianas utilizou-se o teste *U* de *Mann-Whitney*, nos pares de dados com distribuição assimétrica. Quando aplicáveis, testes de correlação de *Spearman* (para os dados não paramétricos) e correlação de *Pearson* e análise de regressão linear simples (para dados paramétricos) foram também realizados, na busca de informações que pudessem auxiliar na interpretação dos resultados. Adicionalmente, análises de dados categorizados por meio do teste *qui-quadrado* foram realizadas para avaliação da dependência entre ocorrência de violações à legislação ambiental e a sazonalidade. Foram utilizados os *softwares* Statistica 8.0® e Microsoft Excel 2010® para realização das análises estatísticas.

## RESULTADOS

### Descrição e análise geral dos dados - estatística descritiva

Estudos já realizados por Passos *et al.* (2014b) relatam que, na perspectiva dos parâmetros de projeto (TDH e carga), a ETE encontra-se superdimensionada, mas ainda assim apresenta eventos de baixa eficiência na



remoção de algumas variáveis de qualidade. Os mesmos autores apresentaram caracterização do efluente que chega à ETE, registrando que o mesmo não possui características de efluentes industriais que possam prejudicar o tratamento (PASSOS *et al.*, 2013). Avaliação do acúmulo/distribuição do lodo e avaliação hidrodinâmica desse sistema também foram realizadas por Passos *et al.* (2014b) e Passos *et al.* (2014a), respectivamente, não tendo esses trabalhos apontado relação evidente desses fatores com os eventos de baixa eficiência nas lagoas. Devido ao grande número de dados obtidos de concentrações afluentes, efluentes e eficiências de remoção, somente as principais observações dos trabalhos anteriores e demais acréscimos julgados relevantes para interpretação geral dos dados e conclusões neste trabalho serão feitas aqui neste item.

Em Passos *et al.* (2014b) é possível consultar uma tabela resumo, sem distinção de períodos climáticos, das medidas de tendência central, dispersão, assimetria, curtose e percentis para as variáveis de monitoramento na ETE (afluente e efluente da ETE e no efluente final de cada lagoa para os dados de oxigênio dissolvido), bem como para a eficiência do sistema na remoção para todas as variáveis, incluindo as do presente estudo. É possível afirmar que, de forma geral, o efluente do aeroporto apresentou concentrações semelhantes ou ligeiramente inferiores às do esgoto doméstico para a maioria dos constituintes de qualidade, apresentando características típicas de esgotos mais diluídos. As concentrações médias de DBO, DQO e fósforo total se situaram abaixo da típica reportada em literatura para esgotos domésticos (METCALF E EDDY 2003; VON SPERLING E CHERNICHARO 2005). Já as concentrações de nitrogênio amoniacal superaram os valores típicos de literatura. Tais constatações podem ser explicadas pela elevada proporção de mictórios (urina) no aeroporto, quando comparada a residências; dentro do conceito de que os banheiros dos aeroportos são mais usados para urinar do que para defecar. A relação DQO/DBO (mediana 1,9) esteve dentro dos limites comumente observados em efluentes domésticos e de boa degradabilidade (1,7 a 2,4, segundo von Sperling e Chernicharo, 2005). Ainda, a relação DBO/N/P indicou não haver limitações de nutrientes para a atividade biológica (relação ideal é 100/5/1, segundo Jordão e Pessôa, 2011).

De todos os dados de vazão afluente à ETE consultados (660 dados), o valor mínimo de TDH resultante na lagoa facultativa foi de 72 dias (média aritmética de 202 dias, mediana de 186 dias), com bastante folga quanto aos valores mínimos recomendados na literatura (15 a 45 dias, segundo von Sperling e Chernicharo, 2005). Em relação à lagoa de maturação, o TDH mínimo apresentado foi de 7 dias (média de 19 dias, mediana de 17 dias), também indicando que a unidade operou com valores de TDH superiores aos usuais para lagoas de maturação únicas. Portanto, as unidades operaram com vazões inferiores à de projeto, resultando em subcarga quanto aos valores de TDH.

Também em relação às cargas superficiais aplicadas o sistema se mostra estar superdimensionado. A taxa de aplicação superficial (TAS) média na lagoa facultativa, considerando os dados analisados, foi de 52 kgDBO/ha.d (mediana de 43 kgDBO/ha.d), bem inferior à faixa usual em projetos, de 100 a 350 kgDBO/ha.d em países de clima tropical (GLOYNA, 1973; VON SPERLING E CHERNICHARO, 2005). O percentil 90 (100 kgDBO/ha.d) indica que a grande maioria dos dados estiveram abaixo desse limite mínimo (entretanto, observou-se a tendência de elevação nos últimos anos – a partir de 2005, quando o número de voos no aeroporto passou a ter um grande aumento).

A ETE apresentou qualidade satisfatória em termos das concentrações efluentes de matéria orgânica e nutrientes. Em termos de eficiência de remoção, os valores de DQO foram inferiores aos típicos da literatura para esgotos sanitários, muito provavelmente devido à presença de algas no efluente, contribuindo principalmente com a DQO (os altos valores de pH e OD no efluente final indicam a elevada atividade das algas na lagoa de maturação).

O sistema apresentou ótima eficiência na remoção de *E. coli*, principalmente devido aos elevados valores de TDH nas unidades. Após análise de correlação de *Spearman* entre os dados de eficiência de remoção de *E. coli* e TDH total do sistema (soma dos TDH das duas lagoas) realizada como parte deste trabalho, verificou-se que as duas variáveis estão positivamente correlacionadas ao grau de confiança de 95% ( $r_s = 0,49$ ).

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa (DN) COPAM/CERH-MG n° 01 (COPAM, 2008) estabelece as condições de lançamento de efluentes em corpos receptores, na qual a DQO efluente deverá ser limitada a 180 mg/L ou o tratamento deverá apresentar eficiência de redução de no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários. Nesse sentido, 62% dos dados de concentrações efluentes de DQO e 54% dos dados de eficiência atingiram as metas. Na maior parte do tempo (81%), a média anual da

eficiência de remoção de DQO, representada pela média móvel de 12 termos na Figura 2a (linha vermelha) permaneceu abaixo da mínima.

Para DBO, a DN 01/2008 estabelece máximo de 60 mg/L no efluente ou eficiência de redução de DBO mínima de 60% e média anual igual ou superior a 70%. Em relação a esse parâmetro, 72% dos dados de concentração efluente estiveram abaixo do limite máximo. Considerando todo o período de monitoramento, a eficiência média de remoção de DBO apresentada pela ETE foi de 76% (mediana 81%), superior à mínima requerida. Na maioria do tempo, a média anual da eficiência de remoção permaneceu acima da mínima requerida.

Já em relação ao pH, menos de 25% dos dados de pH do efluente estiveram dentro do padrão (5,0 a 9,0). Por se tratar de um sistema de lagoas, cuja última unidade é uma lagoa de maturação, é de se esperar altos valores de pH no efluente do sistema. De fato, o efluente da lagoa de maturação atingiu valores de pH de quase 11 e dificilmente atenderia por completo o limite apontado pela legislação.

Os dados aqui apresentados e os resultados dos trabalhos anteriores sugerem que a presença de algas no efluente parece em muito contribuir com os períodos de baixa eficiência na ETE e, consequentemente, com a dificuldade de atendimento à legislação, principalmente em termos de DQO (onde as algas são em grande parte contabilizadas – DQO total) e pH.

#### **Análise da distribuição dos dados e tendências de assimetria e curtose**

A maioria dos parâmetros analisados apresentou diferença significativa entre a média, mediana e moda, o que pode sugerir assimetria dos dados e/ou que a média foi influenciada por valores *outliers*, resultando em um alto desvio padrão, e consequente, variância. De forma geral, os dados de concentrações afluentes e efluentes foram positivamente assimétricos (média é maior que a mediana, que por sua vez é maior que a moda) e os dados de eficiência negativamente assimétricos; o que também pôde ser verificado por meio dos coeficientes de assimetria. Apenas para os valores de pH nas duas lagoas e eficiência de remoção de *E. coli* no sistema, a média, mediana e a moda se encontram muito próximas umas das outras, indicando uma possível distribuição normal desses dados. De fato, o teste de aderência *Shapiro-Wilk* confirmou tais tendências: de acordo com os pressupostos desse teste, os únicos dados que possuem distribuição normal são os de pH (nas duas lagoas) e eficiência de remoção de *E. coli*.

Com relação ao coeficiente de curtose, número adimensional que representa quão pontiagudo ou achatado é o histograma, foi observado que os valores obtidos para este coeficiente são na maioria positivos (Tabela 2), apresentando, portanto, a distribuição platicúrtica. No entanto, esse coeficiente possui maior relevância para distribuições aproximadamente simétricas (NAGHETINNI E PINTO, 2007).

#### **Descrição e análise dos dados para os dois diferentes períodos sazonais**

O panorama climático analisado demonstra que a ETE está localizada em região de condições favoráveis para utilização de lagoas de estabilização. O clima é reconhecidamente tropical, com períodos de altas e baixas temperaturas e duas estações bem distintas (uma chuvosa/quente e outra seca/fria), tornando possível a separação dos dados por sazonalidade. De acordo com a classificação climática adotada no Mapa do Clima do Brasil (IBGE, 2005), a ETE está inserida em uma região de clima Tropical Subquente e Semiúmido. Esse clima está associado principalmente à influência da altitude e do regime pluviométrico (NIMER, 1989). Segundo Nimer (1989), este tipo climático tem como característica a ocorrência de temperatura média inferior a 18 °C em pelo menos um mês do ano. Geralmente, no mês de junho ou julho, a temperatura média varia de 15 a 18 °C. Ainda segundo o autor, o regime de precipitação de regiões de Minas Gerais com classificação climática semelhante apresenta a época seca no período de maio a agosto.

Os dados mensais de temperatura e pluviosidade para o local da ETE corroboram com a maioria das assertivas anteriores. Após análise desses dados, o período seco/frio foi definido como sendo de abril a setembro e o período chuvoso/quente de outubro a março.

Para que os grupos de dados fossem comparados em termos de concentrações efluentes e eficiência para os dois períodos distintos, julgou-se necessário testar a diferença entre as concentrações afluentes para os mesmos

dois períodos, de forma a verificar se não há diferença significativa entre o que chega à ETE ao se tentar discutir alguma eventual diferença encontrada na eficiência ou concentração do efluente. Ou seja, para que qualquer diferença no efluente ou na eficiência de remoção possa ser correlacionada a fatores externos, como a sazonalidade, é necessário antes verificar se as concentrações afluentes dos períodos são as mesmas, já que essas podem ter grande influência no desempenho do sistema. Para tal propósito, os testes de hipóteses foram realizados também para os dados das concentrações afluentes às unidades.

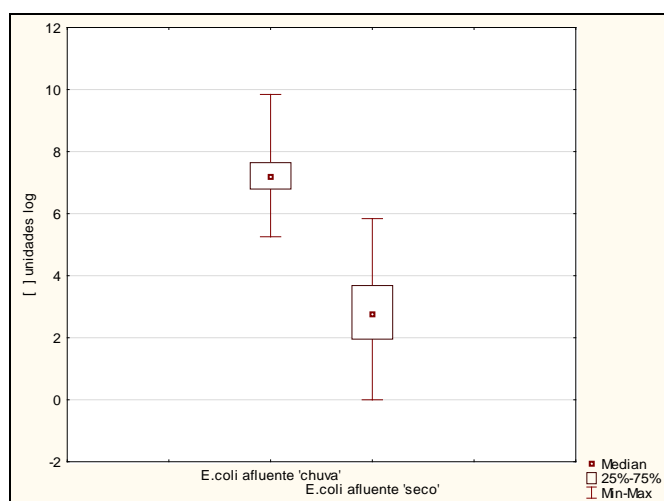
A Tabela 2 apresenta os dados de tendência central das concentrações afluente, efluente e eficiência de remoção dos parâmetros analisados, para os períodos seco/frio e chuvoso/quente. Também está apresentado na Tabela 2 o resultado do teste para os dados de vazão. As análises se referem ao teste *U* de Mann-Whitney para dados não paramétricos e teste *t* de Student para dados com distribuição normal (pH e eficiência de remoção de *E. coli*), testados ao nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Os dados de oxigênio dissolvido dizem respeito às medições em cada lagoa.

**Tabela 2: Concentrações e eficiências de remoção medianas (para os testes não paramétricos) médias (paramétricos) para os períodos ‘seco’ e ‘chuvoso’ ( $\alpha = 0,05$ ).**

	PERÍODO	n	Afluente	p-val	n	Efluente	p-val	n	Eficiência	p-val
Vazão	Seco	335	3,0	0,11	-	-	-	-	-	-
	Chuvoso	301	4,4		-	-		-	-	
DBO	Seco	150	217	0,46	131	40	0,70	130	82	0,77
	Chuvoso	144	211		121	41		121	80	
DQO	Seco	131	468	0,07	129	156	0,64	118	60	0,07
	Chuvoso	128	375		118	159		112	52	
N-NH <sub>3</sub>	Seco	90	<u>38</u>	<u>0,04</u>	90	7	0,29	88	80	0,08
	Chuvoso	86	<u>29</u>		81	9		83	68	
PT	Seco	122	3,2	0,09	106	1,6	0,38	104	53	0,79
	Chuvoso	110	2,8		94	1,4		91	53	
<i>E. coli</i>	Seco	79	<u>1,10x10<sup>7</sup></u>	<u>0,01</u>	80	4,10x10 <sup>2</sup>	0,56	79	4,4	0,47
	Chuvoso	74	<u>2,25x10<sup>7</sup></u>		71	6,00x10 <sup>2</sup>		71	4,7	
pH	Seco	355	<u>7,7</u>	<u>0,04</u>	348	9,6	0,66	-	-	-
	Chuvoso	352	<u>7,5</u>		359	9,6		-	-	
Por lagoa:		n	Facult.	p-val	n	Matur.	p-val	-	-	-
OD	Seco	202	5,4	0,75	185	8,4	0,42	-	-	-
	Chuvoso	198	5,3		188	7,8		-	-	

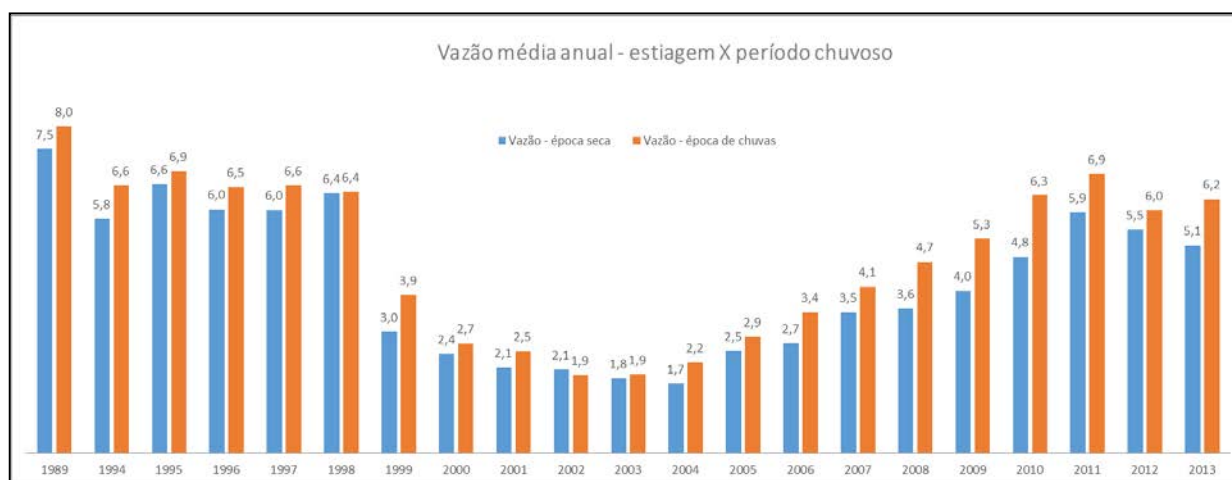
n = número de dados. Concentrações significativamente diferentes estão apresentadas em sublinhado. Teste *U* de Mann-Whitney para dados não paramétricos e teste *t* de Student para dados com distribuição normal ( $\alpha=0,05$ ). Concentrações (mg/L) exceto para *E. coli* (NMP/100mL) e pH (adimensional). Eficiência em (%) exceto para *E. coli* (unidades log). Dados de vazão em L/s.

Pode-se observar, a partir da Tabela 2, que não houve diferença significativa entre as concentrações afluentes, concentrações efluentes e eficiência do sistema para a maior parte dos parâmetros analisados, nos dois períodos considerados. Exceções podem ser vistas nos dados de pH afluente ( $p=0,04$ ), nitrogênio amoniacal afluente ( $p=0,04$ ) e concentração *E. coli* afluente ( $p=0,01$ ), considerados estatisticamente diferentes entre os períodos ‘seco’ e ‘chuvoso’ para um nível de confiança de 95% ( $p\text{-valor} < 0,05$ ). A Figura 3 apresenta os gráficos *box-plot* com percentis 25-75% de *E. coli* (em unidades log) afluente para os dois períodos, evidenciando essa diferença.



**Figura 3: Gráficos Box-plot das concentrações afluentes de *E. coli* (unidades log) nos períodos 'chuvoso' e 'seco', da esquerda para a direita**

A vazão afluente à ETE também não apresentou diferença ( $p=0,11$ ) quanto à sazonalidade ao nível de significância requerido ( $\alpha=0,05$ ), apesar de, graficamente, uma pequena diferença ser perceptível (Figura 4). Entretanto, há de se ressaltar que vazões maiores no período chuvoso não necessariamente estariam relacionadas com infiltrações de água pluvial na rede de esgoto, na medida em que também deve ser considerada a coincidência desse período (setembro a março) com o período de maior movimentação no aeroporto (férias escolares, comemorações de final de ano etc.).



**Figura 4: Gráficos de barras paralelas das vazões afluentes à ETE-Confins nos períodos "seco" (barra azul) e "chuvoso" (barra laranja) de cada ano.**

A princípio, as diferenças significativas encontradas não possuem explicação evidente, visto que se trata de variações no esgoto bruto, independente do funcionamento das unidades. A sazonalidade parece influenciar na qualidade do esgoto bruto para alguns parâmetros, mas esse processo está relacionado à geração do efluente (exemplos: concentração/diluição do efluente com a redução/aumento do consumo de água; diluição do efluente com aporte de água pluvial na rede), e não ao desempenho das unidades de tratamento. Resultados semelhantes a esses também foram encontrado por Dias *et al.* (2013), analisando dados de monitoramento de 10 anos em um sistema piloto composto por lagoas de polimento em série pós reator UASB, em Belo Horizonte-MG (cerca de 40 km do aeroporto de Confins) e por Naval *et al.* (2002) em análise de um ano em ETE composta por lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação em série, na cidade de Palmas-TO.

Os registros de não conformidades de DBO, de acordo com a avaliação de medianas, também não apresentaram diferenças expressivas nos percentuais de violação para os períodos sazonais. Do total de 28% de



não conformidades em relação valor máximo permitido (VMP), 47% ocorreram no período chuvoso e 53% no período de estiagem. Para DQO foram 38% de violações ao VMP, sendo que estas ocorreram em igual percentagem na época seca e chuvosa. Após o teste *qui-quadrado* para dados categorizados, as conclusões acima foram confirmadas: em um nível de confiança de 95%, não foi observada dependência entre as ocorrências de violações à legislação ambiental (concentração efluente de DBO e DQO) e a sazonalidade. O *p-valor* para os testes foi de 0,58 para ambos os parâmetros.

O fato de não terem sido observadas diferenças significativas para a maioria dos dados de concentrações efluentes da ETE e eficiências de remoção entre os períodos seco e chuvoso sugere que outros fatores, que não os climáticos, podem ter maior influência no desempenho de lagoas com condições operacionais semelhantes às do presente estudo; tais como os elevados valores de TDH nas unidades e as baixas cargas superficiais aplicadas. Essas condições contribuem para intensificar a complexidade das interações biológicas nas unidades (ex: balanço da produção de algas, remoção de constituintes, formação de subprodutos), conduzindo a um ambiente consideravelmente diferente daquele comumente observado em lagoas que operam nas faixas de projeto. Nesse cenário, outros fatores podem influenciar o desempenho das lagoas em maior magnitude que as alterações climáticas. A eficiência de remoção de *E. coli*, por exemplo, foi comprovadamente relacionada ao TDH do sistema ao nível de significância do teste realizado (95%), conforme apresentado anteriormente.

Apesar de não ser objeto do presente estudo, é importante registrar que as concentrações e cargas de DBO e DQO refletem a diferença de dois períodos distintos: um, antes de 2005, mais constante, quando o aeroporto operou de forma mais ociosa; e outro, após 2005, quando houve um perceptível aumento das concentrações/cargas ao longo do tempo, decorrente do incremento gradativo da movimentação de passageiros (que, a partir daquele ano, passou a receber a maior parte das operações de voos que antes ocorriam no aeroporto da Pampulha/ Belo Horizonte-MG). Os testes de hipóteses corroboraram essas percepções, confirmando a tendência de elevação nos últimos anos.

Em um cenário de operação da ETE-Confinas nas faixas de TDH e TAS de projeto, nova avaliação de desempenho e influência da sazonalidade pode ser realizada, a fim de confirmar ou não a hipótese sugerida neste trabalho, de que o desempenho geral de lagoas de estabilização depende em maior magnitude dos fatores operacionais e de projeto do que dos fatores climáticos.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

De forma geral, não foram observadas diferenças significativas para as concentrações afluentes, efluentes e eficiências de remoção da ETE entre os períodos definidos como seco e chuvoso, sugerindo que outros fatores, que não os climáticos, podem ter maior influência no desempenho de lagoas com condições operacionais semelhantes, de grande subcarga. Da mesma forma, não foi observada relação estatisticamente significativa entre as ocorrências de violações à legislação ambiental (concentração efluente de DBO e DQO) e a sazonalidade. A vazão afluente à ETE também não apresentou diferença quanto à sazonalidade ao nível de significância requerido.

Recomendam-se em estudos futuros análises mais avançadas de séries temporais, para o sistema como um todo e para cada unidade em separado, capazes de eliminar eventuais tendências apresentadas pelos dados que sejam atribuídas a outras variáveis que não as condições climáticas e aumentar o grau de certeza quanto à significância da sazonalidade nos resultados obtidos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Infraero, Fapemig, Copasa e aos colegas Fabrícia Gonçalves e Higor Suzuki Lima.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 18 th edition. Washington DC.: American Public Health Association, 1992.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9898. *Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores - Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT. 1987
3. \_\_\_\_\_. NBR ISO/IEC 17025 (2005). Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT.
4. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento*. Diário do Executivo de Minas Gerais, 13 de maio de 2008.
5. DIAS, D. F. C.; POSSMOSER-NASCIMENTO, T. E.; RODRIGUES, V. A. J.; VON SPERLING, M. *Overall performance evaluation of shallow maturation ponds in series treating UASB reactor effluent: ten years of intensive monitoring of a system in Brazil*. 3rd IWA Development Congress & Exhibition – International Water Association, Nairobi; Kenya, 14-17. 2013.
6. GLOYNA, E. F. *Estanques de estabilización de águas residuales*. Organização Mundial da Saúde (Ed.), Genebra - Série de Monografias, no 60. 1973.
7. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1050 p. 2011.
8. MARA, D. D. *Domestic wastewater treatment in developing countries*. Earthscan, Londres. 293 p. 2003.
9. METCALF e EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 1819 p., 2003.
10. NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*, Boletim Técnico CPRM, 2007.
11. NAVAL, L. P.; SILVA, C. D. F.; SILVA, G. G. *Influência da sazonalidade em um sistema de lagoas de estabilização*. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6, 2002, Vitória. [Anais...] Vitória-ES: ABES, 2002.
12. OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. 2005b. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 2 – Influência de fatores de projeto e operação. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 358 – 368, 2005.
13. PASSOS, R. G.; VON SPERLING, M.; RIBEIRO, T. B. Caracterização do efluente gerado em um aeroporto de grande porte. Estudo de caso do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins – MG. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2013, Goiânia. [Anais...] Goiânia-GO: ABES, 2013.
14. PASSOS, R. G.; VON SPERLING, M.; RIBEIRO, T. B. (2014a) Hydrodynamic evaluation of a full-scale facultative pond by computational fluid dynamics (CFD) and field measurements. *Water Science and Technology*, v. 70, n. 3, 569–575, 2014.
15. PASSOS, R. G.; VON SPERLING, M.; RIBEIRO, T. B. (2014b) Performance evaluation and spatial sludge distribution at facultative and maturation ponds treating wastewater from an international airport. *Water Science and Technology*, v. 70, n. 2, p. 569-575, 2014.
16. SHILTON, A. *Pond treatment technology*. IWA Publishing. Londres. 2005.
17. VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. Dois volumes. IWA Publishing, Londres. 2005.