



II-266 - IMPLEMENTAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA COM TECNOLOGIA DE OZÔNIO NO AEROPORTO INTERNACIONAL DE SÃO PAULO (AISP)

Elaine Nolasco Ribeiro⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES (1999). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES (2002). Doutora em Biotecnologia Industrial pela Universidade de São Paulo – USP (2008). Bolsista de pós-doutorado da CAPES no Programa de Engenharia de Infra-Estrutura do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.

Wilson Cabral de Sousa Júnior⁽¹⁾

Oceanólogo pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG (1996). Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (1999). Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Estadual de Campinas (2003) e Phd Sandwich pelo Institute Of Latin American Studies - University of London (2002). Professor adjunto do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Wilfredo Milquiades Irrazabal Urruchi

Físico pela Universidad Nacional Mayor de San Marcos (1987). Mestre em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (1992). Doutor em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA (1998). Professor titular da Universidade Braz Cubas, assistente da Universidade de Taubaté, fundador do Instituto de Ciências Aplicadas Vale do Paraíba-São Jose dos Campos, SP.

Amarildo Ferreira Leite

Aluno de graduação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Bráz Cubas.

Marcelo Antunes Nolasco

Biólogo pela Universidade Federal de São Carlos – UFSC (1988). Mestre em Bioengenharia Interunidades pela Universidade de São Paulo – USP (1993). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP (1998) e Miami University, EUA (Doutorado 'Sandwich', 1995-97). Professor adjunto na Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - USP.

Endereço⁽¹⁾: Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Div. de Eng. Civil – Lab. de Geomática, sala 2125 – Prç. Marc. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – CEP 12228-900 – São José dos Campos-SP – Brasil – e-mail: enolasco@ita.br; wilson@ita.br, Brasil - Tel: +55 (12) 3947-6880 - Fax: +55 (12) 3947-6970.

RESUMO

Aeroportos de médio e grande porte possuem elevado consumo de água no local onde se encontram instalados. Na busca de fontes alternativas para o suprimento de água onde os meios convencionais de abastecimento têm mostrado restrições, o aproveitamento da água de chuva surge como uma opção viável e atraente pela relativa facilidade de implantação. O presente trabalho analisou a qualidade das águas coletadas após a realização de uma simulação de chuva no telhado e também após um episódio real de chuva no Aeroporto Internacional de São Paulo (Guarulhos), através da realização de análises físico-químicas e microbiológicas das águas coletadas. Os resultados obtidos demonstraram eficiência do ozônio principalmente na redução de metais pesados e coliformes. Para outros parâmetros esse tratamento foi indiferente ou até mesmo piorou a qualidade da água em virtude de algumas interferências. De forma a otimizar os resultados obtidos com alguns parâmetros e garantir a segurança dos usuários dessas águas, poderia ser utilizado um processo de decantação e/ou filtração. Além disso, os resultados confirmam que os 10 a 20 primeiros minutos de chuvas, geram águas de qualidade ruim sendo recomendável o seu descarte para não encarecer o tratamento. A aplicação do ozônio para tratamento das águas de chuva é uma alternativa viável, do ponto de vista de eficiência de tratamento, no entanto, outros testes devem ser feitos na tentativa de reduzir a dose aplicada (< 25 mg/L de O₃) e tempo (inferior a 15 min.) mantendo a eficiência do processo e reduzindo custos.

PALAVRAS-CHAVE: água de chuva, ozônio, aeroportos, aproveitamento, tratamento

INTRODUÇÃO

As águas de chuva abastecem rios, lagos e recarregam aquíferos subterrâneos que alimentam poços para abastecimento de água potável. A prática de abertura de poços para extração de águas para consumo humano é



muito comum em diversas cidades brasileiras. Só na cidade de Guarulhos (SP) existem 750 poços no entorno do Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP). O próprio aeroporto mantém em operação 9 poços para abastecimento de água potável que vem demonstrando restrições de uso. O AISP foi construído numa área pantanosa da várzea do rio Baquirivu-Guaçu, contendo uma sequência de camadas argilosas próximas da superfície. Estas camadas produzem uma acentuada impermeabilização natural. Como consequência, é lenta a recarga natural do aquífero sedimentar, constituído por camadas arenosas, situadas em posição topográfica e estratigráfica inferior às camadas argilosas (Diniz, 1996). Segundo estudo realizado por Okpala (2005), a extração excessiva de água no sítio aeroportuário do AISP pode causar o rebaixamento do solo, que por sua vez poderia abalar as estruturas do aeroporto. Tal situação também tem sido observada na Cidade do México, que tem sofrido com a subsidência do solo em virtude do excesso de captação de água em um aquífero localizado abaixo da cidade.

No que diz respeito ao uso dos recursos naturais, especialmente água e energia, aeroportos de grande porte, assemelham-se a cidades de médio porte. Nesse contexto se insere o Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro, conhecido também como Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP), situado no município de Guarulhos, distante 32 km do centro da cidade de São Paulo (IESA, 1992). Este aeroporto opera atualmente com dois terminais de passageiros, TPS-1 e TPS-2, e quatro terminais de carga. Os terminais TPS-1 e TPS-2, projetados inicialmente para atender 15 milhões de passageiros por ano, operam atualmente com a carga de 17 milhões de passageiros por ano, sendo o maior do Brasil e o segundo maior do hemisfério sul, possuindo consumo médio de água no AISP ficou em torno de 658.000 m³/ano (média 2000-2008).

Como forma de evitar um colapso de abastecimento em algumas cidades ou remediar essa situação, fontes alternativas de abastecimento têm sido exploradas. Dentre elas destaca-se a captação das águas de chuva, tidas como uma das fontes mais limpas para o abastecimento, se utilizadas para fins que não requeiram águas com padrão de potabilidade. As águas pluviais podem absorver gases como dióxido de carbono, oxigênio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre a partir da atmosfera, podem também capturar fuligem e outras partículas microscópicas quando caem e são quase 100% puras até passarem por uma superfície de escoamento. Estas podem conter folhas, gravetos, pequenos insetos, fezes de pássaros e pequenos roedores (Texas Commission on Environmental Quality, 2007). As folhas por exemplo, podem conter herbicidas e pesticidas em sua superfície, as fezes de animais, microrganismos que podem comprometer a qualidade dessas águas.

As águas de chuva captadas podem ser utilizadas para reservas de incêndio, descarga em bacias sanitárias, regas de áreas verdes, efeito decorativo, lavagem de ruas e pátios, todos compatíveis com águas de qualidade inferior. Em aeroportos a captação das águas de chuva pode ocorrer a partir de vários tipos de estruturas: coberturas de prédios, galpões, áreas pavimentadas como pátio de manobra das aeronaves, estacionamentos de carros e pista de pouso e decolagem das aeronaves, desde que estas propiciem um volume considerável de água a ser captado, o suficiente para justificar o investimento em coletores, reservatório e redes de distribuição. No entanto, a aplicação das águas para os usos citados acima, fica condicionada a um padrão mínimo de qualidade que não ofereça risco aos usuários. Em função disso, torna-se necessário o estabelecimento de critérios de qualidade para o aproveitamento da água de chuva, em função do seu uso, e a escolha de um tratamento que permita atender a esses padrões.

Dentre os métodos alternativos para tratamento de águas está o ozônio. Este possui algumas vantagens em relação aos outros métodos de desinfecção: forte oxidante da matéria orgânica, atuação rápida e eficiente sobre bactérias, vírus e protozoários (inclusive cistos), destrói pigmentos, detergentes e fenóis (Pessoa, 2007). Nos Estados Unidos, durante as últimas décadas, mais de trezentas estações de tratamento foram projetadas e construídas para serem operadas com tecnologia de ozônio, em diversos pontos de aplicação e para diferentes finalidades: desinfecção, remoção de cor, sabor, odor, ferro e manganês, controle de algas entre outras (Rakness, 2005). Um dos maiores empecilhos à utilização desta tecnologia é o seu custo. Contudo, a escolha do ozônio para tratamento das águas de chuva deu-se em virtude das vantagens já mencionadas e também, porque essa tecnologia já vem sendo estudada pelo grupo de trabalho envolvido nesse projeto.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características físico-químicas e microbiológicas das águas de chuva coletas em telhados no Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP) antes e após aplicação de tratamento com ozônio. O tema deste trabalho está inserido no projeto Hidroaer - Uso Eficiente de Águas em Aeroportos.



METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no terminal 2 do Aeroporto Internacional de São Paulo, em Guarulhos, São Paulo, Brasil. Esse aeroporto foi inaugurado em 1985 e ocupa uma área de aproximadamente 11,9 milhões de m² (Vitalux, 2006). Anexo ao aeroporto, ao sul, encontra-se a Base Aérea de São Paulo (BASP), do Ministério da Aeronáutica, a qual utiliza as mesmas pistas e ocupa um terreno de aproximadamente 2 milhões de m², compondo, do ponto de vista físico-operacional, um único conjunto.

O primeiro ensaio a ser realizado foi o de simulação de chuva, sob condições controladas, no telhado. A simulação de chuva foi realizada em julho de 2008, quando se utilizou 5.000 L de água para aspersão de um telhado com área de 54 m², na Central de Gás, Terminal 2 do AISP. A água utilizada para esse ensaio era proveniente de poço e estava livre de cloro. Três amostras de 20 L cada foram coletadas com cinco minutos de intervalo: tempo zero (T0) coletado no início do experimento, tempo cinco (T5) com cinco minutos e tempo 10 com dez minutos após início do experimento. Após a definição das condições de amostragem com ensaio de simulação de chuva, realizou-se a amostragem das águas pluviais após escoamento pelo telhado, em um episódio de chuva real. Esse experimento foi realizado em janeiro de 2009, no mesmo local do ensaio de simulação. Foram coletados 20 L de amostras após 25 minutos de chuva e divididas em 3 alíquotas, uma sem tratamento (T0ch), a segunda foi tratada por 10 min. (T10ch) e a terceira tratada por 15 min. (T15ch). O descarte dos primeiros 25 min. de chuva teve por objetivo limpar o telhado e obter águas com melhor qualidade. Em ambos os ensaios, logo após a coleta, as amostras foram mantidas sob refrigeração até o início das análises.

Para o tratamento com ozônio as amostras coletadas foram colocadas separadamente em um recipiente cilíndrico de PVC, com capacidade para 10 L, contendo um difusor de ar. Um gerador de ozônio foi utilizado para produção do gás a partir de oxigênio puro contido em um cilindro. No primeiro ensaio, simulação de chuva em condições controladas, foi utilizada a dose de 25 mg/L de O₃ com fluxo de vazão de ar de 0,5 L/min durante 5 minutos, para todas as amostras. No segundo experimento, em condições reais de chuva, utilizou-se a mesma dose do ensaio anterior, 25 mg/L de O₃, porém aumentou-se o fluxo de vazão de ar para 1 L/min por 10 e 15 minutos.

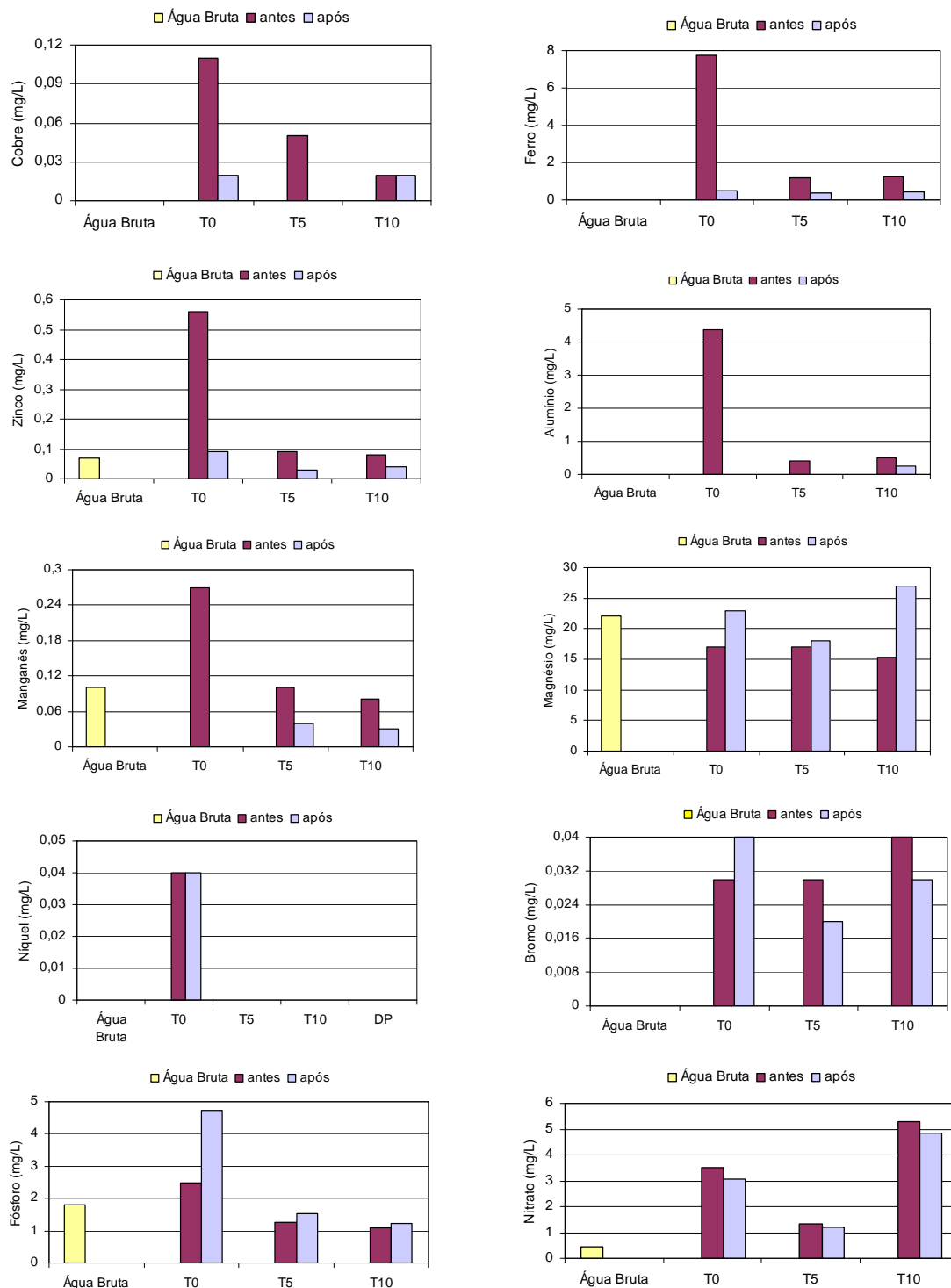
Uma empresa contratada realizou as análises físico-químicas e microbiológicas das amostras coletadas de acordo com APHA (2005). Os parâmetros analisados e as metodologias empregadas são apresentados na tabela 1.

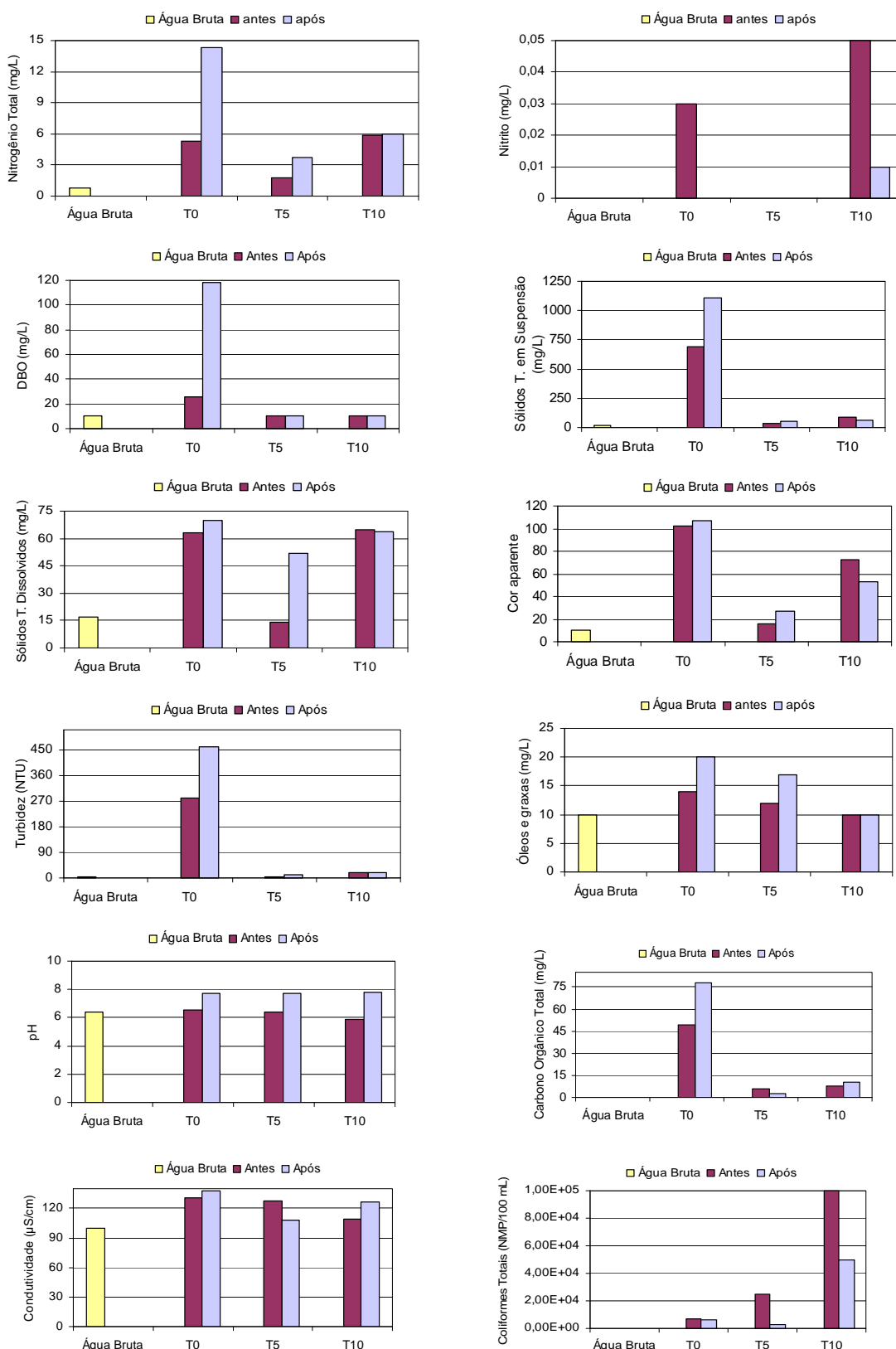
Tabela 1: Parâmetros analisados e métodos analíticos empregados nos experimentos.

PARÂMETROS	MÉTODOS ANALÍTICOS	PARÂMETROS	MÉTODOS ANALÍTICOS
Cobre (Cu)	SMWW 3111 B	Nitrogênio Total (N-Total)	SMWW 4500-N A e C
Ferro (Fe)	SMWW 3111 B	Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD)	SMWW 4500H ⁺ A e B
Zinco (Zn)	SMWW 3111 B	Sólidos Totais em Suspensão (STS)	SMWW 2540 A, B, C, D, E, F e G
Alumínio (Al)	SMWW 3111 D	Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	SMWW 2540 A, B, C, D, E, F e G
Manganês (Mn)	SMWW 3111 B	Turbidez	SMWW 2130 A e B
Magnésio (Mg)	SMWW 3111 B	Cor aparente	SMWW 2120 A e C
Cromo (Cr)	SMWW 3111 B	Condutividade	SMWW 2410 A e B
Níquel (Ni)	SMWW 3111 B	Carbono Orgânico Total	SMWW 5310 A e C
Bromo (Br)	SMWW 4500Br A e B	Óleos e graxas	SMWW 5520- Óleos e graxas A e D
Fósforo (P)	SMWW 4500P A	Hidrocarbonetos Aromáticos Voláteis (HAV)	SMWW 6400 A e C
Nitrato (NO ₃ -N)	SMWW 4500-NO ₃ A e E	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)	SMWW 6400 B
Nitrito (NO ₂ -N)	SMWW 4500-NO ₂ A e B	Coliformes totais e termotolerantes	SMWW 9222 B, D e G

RESULTADOS OBTIDOS

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas antes e após tratamento com ozônio, para os ensaios de simulação de chuva e em condições reais de chuva. No ensaio de simulação o ozônio foi eficiente para redução de Cu, Fe, Zn, Al, Mn, nitrito e nitrato, coliformes totais e termotolerantes. Entretanto, em algumas situações, o tratamento com ozônio provocou um aumento na concentração de alguns parâmetros: Mg, P, DBO (T0), Nitrogênio total, pH, STD, STS, turbidez, cor aparente e óleos e graxas, mostrando-se indiferente para o Ni, DBO (T5 e T10) e Br.





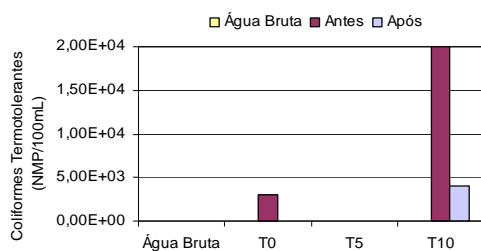


Figura 1: Resultado das análises físico-químicas e microbiológicas, antes e após tratamento com ozônio, para o ensaio de simulação de chuva sobre telhado com valor da água bruta (água de poço utilizada na aspersão), início do escoamento T0, após 5 e 10 min. de escoamento.

No ensaio realizado em condições reais de chuva, não foi sequer detectada a presença de Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Br, P (exceto T10), nitrito e óleos e graxas. O tratamento com ozônio foi eficiente na redução das concentrações de Nitrogênio total, STS, turbidez, cor aparente, coliformes totais e termotolerantes. Outros elementos como Al, Mg e STD sofreram aumento em seus valores, enquanto que o tratamento com ozônio foi indiferente para o Fe, nitrato e DBO.

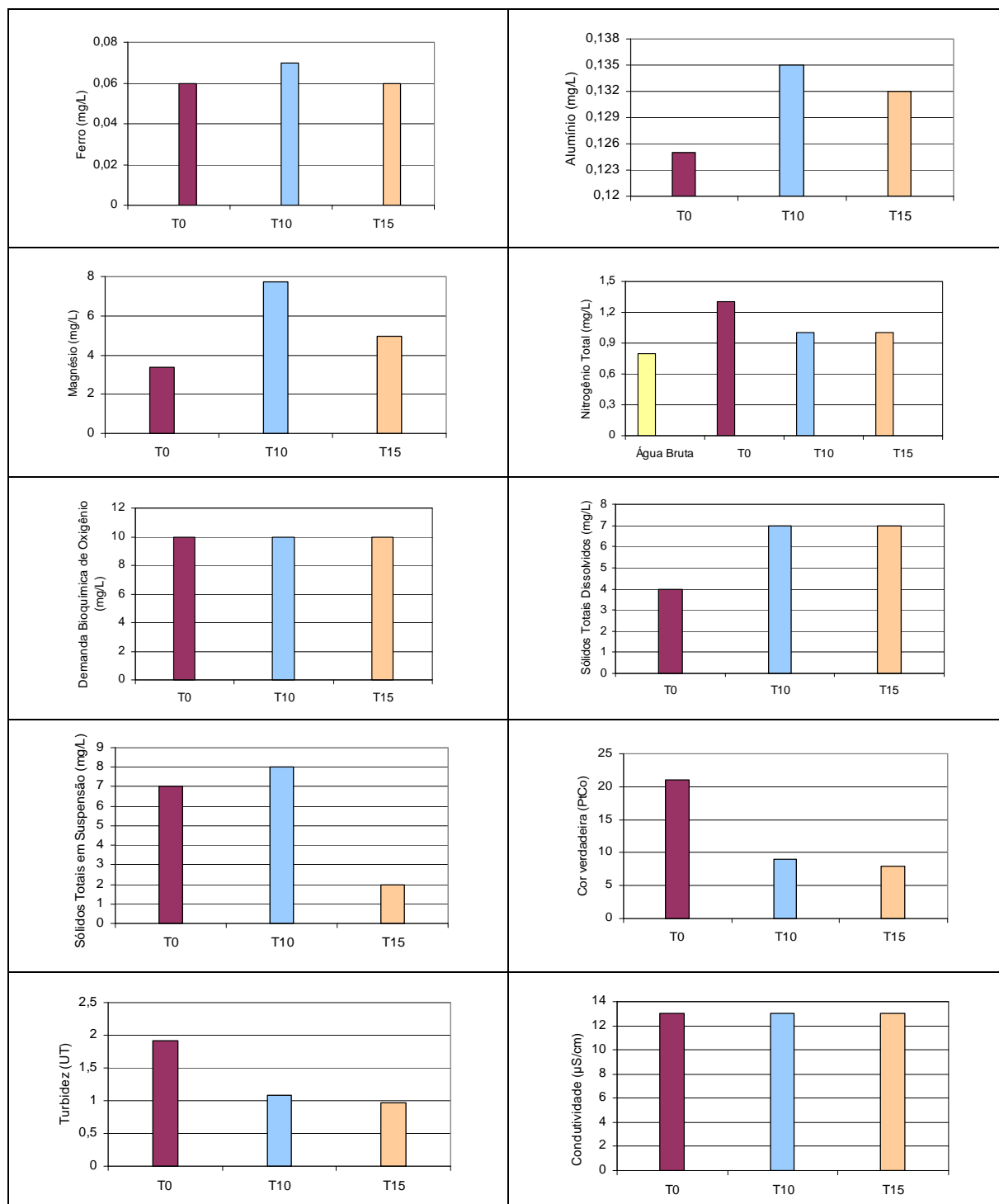


Figura 2: Resultado das análises físico-químicas do ensaio em condições reais de chuva no AISP para alguns dos parâmetros avaliados, sem tratamento T0 e após 10 e 15 min. de ozonização, T5 e T10, respectivamente.

Quanto aos resultados obtidos no primeiro ensaio, simulação de chuva, observou-se que o primeiro tempo de amostragem, T0, foi o mais crítico em termos de contaminação. Nos demais tempos, T5 e T10, o nível de contaminação oscilou, ora foi maior que T0, ora foi menor. Tal variação pode ser atribuída ao modo como a água foi aspergida sobre o telhado, sem controle de vazão e com relativa pressão, ocasionando um desprendimento irregular de sólidos e sujidades aderidas ao telhado, o que refletiu na qualidade das amostras obtidas. Além disso, quando este ensaio foi realizado não chovia há 24 dias na cidade de Guarulhos, o que permitiu a deposição e acúmulo de poluentes sobre o telhado. Em virtude desses resultados, determinou-se



que, para o segundo experimento realizado em condições reais de chuva, seria feito um descarte dos primeiros 25 min. de chuva, com intuito de se obter amostras com melhor qualidade. Os resultados obtidos, indicaram a melhora esperada, contudo, esse experimento foi realizado no mês de janeiro, quando chove quase todos os dias, ocasionando uma lavagem constante do telhado, o que também favoreceu o menor nível de contaminação das amostras obtidas.

Quanto à ação do ozônio, o seu efeito sobre os metais já era esperado. Em presença de ozônio, os metais são elevados a seus mais altos estados de oxidação, nos quais, em geral, são menos solúveis em meio aquoso e podem ser removidos por filtração (Bilotta, 2000). Rodríguez et al. (2008) também obtiveram redução nas concentrações de Fe e Mn ao usarem tratamento com ozônio. A redução da concentração desses elementos ocorre porque o ozônio oxida Fe e Mn, transformando-os em formas sólidas de Fe(OH)_3 e MnO_2 .

Segundo Ball et al. (1997) e Bilotta (2000), ânions nitrogenados como nitrito, cianeto, cianato e tiocianato podem ser oxidados pelo ozônio. No entanto, no ensaio de simulação de chuva, dos elementos analisados, houve redução apenas de nitrato. O nitrogênio total aumentou, podendo estar relacionado com a retirada de nitrogênio de outra fonte, que não a série nitrogenada. As concentrações de nitrito flutuaram ao longo dos tempos de amostragem o que pode ser relacionado com os efeitos da aspersão irregular sobre o telhado. A efetividade do ozônio sobre o Nitrogênio total no segundo ensaio pode ser atribuída a menor concentração desse elemento nas primeiras amostras coletadas nos ensaios de simulação e em condições reais de chuva (5,30 mg/L) e (1,30 mg/L), respectivamente.

Em relação à ação do ozônio sobre alguns parâmetros como STS, STD, cor, turbidez, COT e condutividade, a sua efetividade não pode ser confirmada para algumas situações (tempos de amostragem e tempo de tratamento) nos dois ensaios realizados. O aumento na concentração dos STD e STS, após tratamento, pode ser explicado em razão do aumento na disponibilidade dos sólidos resultantes da própria ozonização, pois o borbulhamento causado pela inserção do difusor de bolhas no recipiente de ozonização pode ter fragmentado partículas de sólidos em suspensão, acarretando aumento do seu teor juntamente com a turbidez e cor aparente dos efluentes. Zhu et al. (2008) atribuem o aumento do teor de STD e STS em suspensão, após ozonização, com base em estudo conduzido por eles. Esses autores observaram que um tempo de contato pequeno do ozônio com a amostra, 2 min., fez o tamanho das partículas aumentarem e, um tempo de contato maior, 15 min., fez com que o tamanho das partículas diminuísse. Quanto ao efeito da dose, foi observado que baixas doses de ozônio (0,548 mg/L – 2 min.) fazem as partículas “crescerem” devido à redução do potencial zeta, perda da força de repulsão entre as partículas, causando a formação de flocos. Doses de ozônio mais elevadas (4,915 mg/L – 15 min.) quebram as pontes químicas-orgânicas, aumentam o potencial zeta, causando ganho de carga negativa e conseqüente repulsão das partículas.

Quanto a DBO, esta foi indiferente ao tratamento com ozônio, em condições reais de chuva, e sofreu aumento no ensaio de simulação no T0. Xu et al. (2002), também apontaram um aumento de 20% na concentração de DBO_5 após a ozonização de um efluente secundário altamente poluído. Segundo esses autores, esse é um comportamento típico do ozônio que pode oxidar compostos recalcitrantes e desse modo aumentar a biodegradabilidade do efluente.

Na tabela 2 são apresentados os resultados das análises microbiológicas realizadas com amostras coletadas nos ensaios de simulação de chuva e chuva em condições reais. Quanto às análises microbiológicas, esperava-se uma redução maior no número de coliformes no primeiro ensaio, no entanto, esta foi pequena. Segundo Vieira (2007), Bilotta (2000) e Marchioretto (1999) alguns fatores podem ser responsáveis pela baixa eficiência na desinfecção pelo ozônio: dose de ozônio utilizada, tempo de contato, teor de sólidos em suspensão, pH, DQO, carbono orgânico, temperatura da amostra, geometria da câmara de contato e oscilações na produção de ozônio pelo gerador e, nesse caso específico, falta de homogeneidade na aspersão de água sobre o telhado.



Tabela 2: Resultado das análises microbiológicas realizadas nos ensaios de simulação de chuva e condições reais de chuva.

	SIMULAÇÃO DE CHUVA						CONDIÇÕES REAIS DE CHUVA		
PARÂMETROS	ANTES DO TRATAMENTO			ANTES DO TRATAMENTO			ANTES	APÓS TRATAMENTO	
	T0	T5	T10	T0	T5	T10	T0	T10	T15
Coliformes totais (NMP/100 mL)	7,0x10 ³	2,5x10 ⁴	1,0x10 ⁵	6,0x10 ³	3,0x10 ³	5,0x10 ⁴	5,4x10 ²	ND	ND
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	3,0x10 ³	Ausência	2,0x10 ⁴	Ausência	Ausência	4,0x10 ³	47	ND	ND

Legenda: ND – Não Detectado.

A quantidade e dimensão dos sólidos suspensos totais presentes no efluente também são fatores limitantes a ação germicida do gás ozônio (Bilotta, 2000; Marchioreto 1999), podendo resultar na formação de agregados partículas-microrganismo, que dificultam, ou mesmo impossibilitam, a ação efetiva do ozônio sobre estes. Logo, partículas maiores que a própria bactéria (aproximadamente 10µ) contribuem para o efeito de oclusão, proteção resultante na formação de agregados partículas-microrganismos (Assirati, 2005; Bilotta, 2000). Além do efeito relatado acima, substâncias como Fe, Mn, turbidez, matéria orgânica e inorgânica, gás sulfídrico, compostos orgânicos e inorgânicos nitrogenados, também interferem na eficiência da inativação microbiana (Wef, 1996; Gelderich et al., 1978 apud Bitton, 1994). Apesar de até o presente momento não haver legislação específica para aproveitamento da água de chuva no Brasil, alguns documentos têm funcionado como diretrizes para regular esta atividade. Dentre eles está o Manual de Conservação e Reuso em Edificações, elaborado em 2005 por entidades públicas e privadas. O referido manual fornece exigências mínimas da água não potável para aplicações em instalações prediais. A Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou uma norma para aproveitamento de água de chuva a partir de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT 15527/2007). A tabela 3 apresenta uma comparação dos resultados obtidos no presente estudo com aqueles recomendados pela ABNT e pelo Manual de Conservação e Reuso em Edificações. As comparações realizadas indicaram que a amostra (T5) do ensaio de simulação teve mais parâmetros em desacordo com as diretrizes comparadas do que as águas pluviais. Como a contaminação das águas pluviais está sujeita a diversas fontes e pode variar com o tempo, estações mais secas ou chuvosas, é recomendável a adoção de mais um tratamento, tipo filtração, até mesmo para aumentar a eficiência da ozonização.

Tabela 3: Comparação dos valores dos parâmetros avaliados com algumas diretrizes brasileiras para aproveitamento de água.

PARÂMETROS	AMOSTRA (T5) DO ENSAIO DE SIMULAÇÃO APÓS 5 MIN. DE TRATAMENTO	ÁGUAS PLUVIAIS APÓS 15 MIN. DE TRATAMENTO	CLASSE 1*	PADRÃO NBR 15527
pH	7,74	6,81	6,0 a 9,0	6,0 a 8,0
Turbidez (UNT)	9,80	0,96	< 2	< 2 ou < 5
Cor (µH)	27	8,0 mg/L ⁻¹ PtCo	< 10	< 15
DBO (mg/L)	10	10	< 10	
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	-	-	≤ 20	
Nitrato (mg/L)	1,20	0,27	< 10	
Nitrito (mg/L)	< Lq	< Lq	< 1	
Fósforo (mg/L)	1,52	< Lq	< 0,1	
SST (mg/L)	54	2,0	< 5	
SDT (mg/L)	52	7,0	< 500	
Coli. Termotolerantes (NMP/100 mL)	Não detectado	Não detectado	Não detectável	-
Coli. Fecais (NMP/100 mL)	-	-	Não detectável	
Coli. Total (NMP/100 mL)	3,0 x10 ³	Não detectado	Não detectável	Ausente

Legenda: * Valores recomendados pelo Manual de conservação e reuso de água em edificações para águas de Classe 1: descarga sanitária, lavagem de pisos, veículos, roupas e fins ornamentais.



CONCLUSÕES

Os resultados experimentais obtidos com ozonização em escala de bancada confirmam a eficiência do ozônio principalmente na redução de metais pesados e coliformes. Para outros parâmetros esse tratamento foi indiferente ou até mesmo piorou a qualidade da água em virtude de algumas interferências. De forma a otimizar os resultados obtidos com alguns parâmetros e garantir a segurança dos usuários dessas águas, poderia ser utilizado um processo de decantação e/ou filtração. Além disso, os resultados confirmam que os 10 a 20 primeiros minutos de chuvas, geram águas de qualidade ruim sendo recomendável o seu descarte para não encarecer o tratamento. A aplicação do ozônio no tratamento das águas de chuva é uma alternativa viável, do ponto de vista de eficiência de tratamento, no entanto, outros testes devem ser feitos na tentativa de reduzir a dose aplicada ($< 25 \text{ mg/L de O}_3$) e tempo (inferior a 15 min.) mantendo a eficiência do processo e reduzindo custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO E SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de Conservação e Reuso em Edificações. Prol ed. São Paulo. 2005.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro. 2007.
3. APHA - American Public Health Association, American Water Works Association Water Pollution Control Federation. 21 ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
4. ASSIRATI, D. M. Desinfecção de efluentes de ETE com ozônio para uso agrícola. Dissertação de mestrado- Engenharia Civil, Universidade de Campinas, 2005.
5. BALL, B. R.; BRIK, V. K.; BRANCATO, M. S.; ALLISON, M. P.; VAIL, S. M. Whole effluent toxicity reduction by ozone. Environmental Progress, v. 16, n. 22, p. 121-123, 1997.
6. BILOTTA P. Estudo comparativo da ação do ozônio e radiação UV na desinfecção de esgoto sanitário. Dissertação de mestrado-Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
7. GELDERICH, E.; ALLEN, M.; TAYLOR, R. Interferences to coliform detection in potable water supplies. U.S.EPA, Washington, p. 13-20, 1978 apud BITTON, G. Wastewater Microbiology. John Wiley & Sons, New York, 1994.
8. MARCHIORETTO M. M. Ozonização seguida de coagulação/floculação e flotação como pós-tratamento do efluente de reator anaeróbico com chicanas tratando esgoto sanitário. Dissertação de mestrado-Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.
9. RODRÍGUEZ, A.; ROSAL, R.; PERDIGÓN-MELÓN, J. A.; MEZCUA, M.; AGÜERA, A.; HERNANDO, M. D.; LETÓN, P.; FERNÁNDEZ-ALBA, A. R.; GARCÍA-CALVO, E. Ozone-based Technologies in water and wastewater treatment. Environmental Chemistry, v. 5, 2008.
10. SOARES, L. V. Ozonização de esgoto sanitário: estudo da hidrodinâmica, transferência de massa e inativação de microrganismos indicadores. 2007. 249 f. Tese de doutorado-Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2007.
11. TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY. Harvesting, storing, and treating rainwater for domestic indoor use. Austin, Texas, 2007.
12. VITALUX, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA LTDA. 2006. Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Governador André Franco Montoro – Relatório do Plano de Gestão de Recursos Hídricos. (International Airport of São Paulo - Governador André Franco Montoro - Report of Management Plan for Water Resources). Contrato 0053-ST/2005/0057.
13. WEF, Water Disinfection – Manual of Practice. Water Environment Federation, USA, 1996.
14. Zhu H. T., Wen X. H., Ruang X. Pre-ozonation for dead end microfiltration of secondary effluent: suspended particles and membrane fouling. Desalination, v. 231, n.1-3, p.166-174, 2008.