



IV-140 - APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL NO AEROPORTO INTERNACIONAL TANCREDO NEVES, MG

Henrique Oliveira Alves⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Viçosa.

Marcos Dornelas Freitas Machado e Silva

Graduando em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Viçosa.

Maria Lúcia Caliuri

Doutora em Engenharia Civil. Professora Titular da Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG).

Madson Zaquine Candido

Engenheiro Agrimensor pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestrando em Engenharia Civil (Sanitária e Ambiental) pela Universidade Federal de Viçosa.

Ronan Fernandes Moreira Neto

Graduando em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Viçosa.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências Exatas Avenida P. H. Rolfs, s/n 36570-000 – Viçosa (MG), Brasil Tel.: (31) 3899-3093 Fax: (31) 3899-3098 E-mail: henrique.oalves@gmail.com

RESUMO

O uso de águas pluviais é uma prática já presente e necessária no atual cenário de escassez qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos. Em ambientes aeroportuários, o alto grau de impermeabilização do solo, proporciona grande o volume de água escoado superficialmente, o qual pode ser armazenado durante o período chuvoso e utilizado para diversos fins não-potáveis.

Esse estudo foi realizado com vistas a avaliar e propor alternativas para uso de águas pluviais em edificações do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, MG.

Foi realizada a caracterização físico-química e microbiológica da água pluvial coletada de um telhado adjacente ao prédio principal do setor de manutenção da INFRAERO. O monitoramento da qualidade da água contemplou o ano hidrológico, com análises de condutividade elétrica, turbidez, pH, alcalinidade, dureza, SDT, SST, SSed, DQO, BTEX, metais pesados, óleos e graxas, e *E. coli*.

Essa caracterização indicou uma elevada qualidade da água pluvial evidenciando seu potencial de aproveitamento. Realizaram-se simulações para avaliação do potencial de aproveitamento de água pluvial para cinco edificações do complexo aeroportuário que apresentaram demandas consideráveis. Utilizou-se o método de balanço de vazões, considerando demandas e áreas de captação de cada edifício. Foram simulados os seguintes cenários de consumo: i) demanda atual; ii) 30% de acréscimo na demanda atual e; iii) 30% de redução na demanda atual.

Apresentaram-se, para as simulações propostas, o volume aproveitado de água anual, a economia anual, o déficit anual e o déficit durante o período chuvoso juntamente com o tempo de amortização do investimento, relativo à construção do reservatório de armazenagem.

PALAVRAS-CHAVE: Água pluvial, Águas em aeroportos, Uso de água, Economia de água.

INTRODUÇÃO

A captação de água de chuva com vistas ao seu uso é uma técnica adotada no mundo inteiro e se faz cada vez mais útil no atual cenário de escassez qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos. Águas pluviais podem ser aproveitadas para uso doméstico, industrial e agrícola dentre outros (BARCELOS & FELIZZATO, 2005) proporcionando reduções significativas dos custos advindos do consumo de água a partir de fontes tradicionais. Em ambientes aeroportuários, devido a impermeabilização do solo, é grande o volume de água escoado superficialmente, podendo armazená-lo no período chuvoso e utilizá-lo para fins não potáveis.

O aproveitamento de água pluvial já é uma realidade em muitos complexos aeroportuários. Durante as obras de ampliação do Aeroporto de Heathrow, em Londres, utilizou-se água pluvial juntamente com água subterrânea para suprimento de usos não potáveis, proporcionando redução do consumo em 70% (BAA, 2009a). O sistema de coleta de água pluvial do novo terminal desse aeroporto, em operação desde março de 2008, disponibiliza para uso até 85% da água pluvial precipitada em sua área (BAA, 2009b).



Os projetos de ampliação e revitalização dos principais aeroportos brasileiros estão contemplando o uso racional e a conservação dos recursos hídricos. No novo anexo do Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro inaugurado em 2007 foi implantado um sistema para a coleta e aproveitamento de águas pluviais. O projeto prevê a coleta da água pluvial de uma área de 14.150 m², com potencial de aproveitamento de 1.085m³ mensais (Cosch, 2009). No Aeroporto Antonio Carlos Jobim estão sendo realizadas obras de revitalização que contemplam a implantação de sistemas de reuso de água (INFRAERO, 2009a).

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves apresentou em março de 2005 aumento do fluxo anual de passageiros de aproximadamente 600% em relação ao ano anterior, com a transferência de vôos do Aeroporto de Belo Horizonte Carlos Drummond de Andrade. Nos anos seguintes esse crescimento foi superior a 16%, atingindo em 2008 cinco milhões de passageiros, capacidade máxima do terminal de passageiros. Esse crescimento foi refletido no consumo de água do complexo aeroportuário, apesar das medidas de racionalização adotadas pela INFRAERO. Em 2008 houve incremento de 10% no consumo de água do aeroporto em relação a 2007, superando 155.000m³.

Neste contexto a água pluvial deve ser vista como importante fonte alternativa de abastecimento para o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, destacando-se a conservação de água e a economia de recursos financeiros como aspectos favoráveis para tal prática.

OBJETIVOS

Caracterizar a qualidade da água pluvial coletada em um telhado do complexo aeroportuário bem como a qualidade da água potável coleta em diversos pontos do sistema de distribuição de água do aeroporto. Apresentar um estudo realizado em cinco locais no aeroporto contendo simulações do aproveitamento de água pluvial para esses casos.

MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL E DA ÁGUA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Instalou-se uma unidade de coleta e armazenamento de água pluvial nas adjacências do prédio principal do setor de manutenção do complexo aeroportuário, para a caracterização da água de chuva em diferentes épocas do ano.

A unidade é composta por um reservatório de descarte, responsável pelo descarte das primeiras águas de chuvas, supostamente de qualidade inferior, e um reservatório de armazenamento utilizado para coleta das amostras.

Para o dimensionamento do reservatório de descarte, adotou-se a metodologia de May (2004), com razão média de 1,0 L/m² de telhado. Como o telhado possui área de 150 m², o volume do reservatório de descarte foi de 150 L. Os reservatórios foram instalados juntamente com bóias de nível com diâmetro de bitola de 50 mm.

Na Tabela 1 apresenta-se a caracterização da água pluvial teve início em novembro de 2007, início do período de chuvas na região, e foi até o mês de maio de 2008. No total, nove campanhas.

Tabela 1: Datas referentes às campanhas de amostragem de água pluvial.

Campanha	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a
Data	19/12/07	18/1/08	22/2/08	1/4/08	27/5/08	5/9/08	26/9/08	20/11/08	16/12/08

As análises foram realizadas de acordo com “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, por um laboratório de Belo Horizonte. Os parâmetros analisados foram: *E. coli*, DQO, dureza total, alcalinidade, BTEX, SDT, SST, SSed, óleos e graxas, Al, As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Sn, Fe, Mg, Mn, Ag, Ni, Hg, Se e Zn.



Alguns parâmetros foram analisados “in loco”, utilizando equipamentos portáteis. Foram eles: pH, condutividade e temperatura. Os equipamentos utilizados para medições “in loco” foram: um medidor de pH da marca MARCONI (modelo PA-200P) e um condutivímetro da marca MARCONI (modelo CA-150P). Todos os critérios de calibração e metodologia de medição foram rigorosamente seguidos conforme indicado nos respectivos manuais.

Para efeito de comparação da qualidade da água pluvial coletada com a água do sistema de distribuição, realizaram-se amostragens da água distribuída no complexo aeroportuário. Foram coletadas, diretamente das torneiras dos lavatórios, amostras em 3 prédios do aeroporto (Manutenção, Terminal de Passageiros e Terminal de Cargas). Os parâmetros analisados foram: DQO, dureza total, SDT, cálcio, sódio, magnésio e zinco.

ANÁLISE DE USOS E LOCAIS POTENCIAIS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Os prédios com maior consumo de água foram identificados a partir de dados de consumo mensal, do período de janeiro de 2005 a dezembro de 2008, fornecidos pela INFRAERO. Para cada um deles realizou-se análise da viabilidade da utilização dos respectivos telhados para captação da água pluvial.

AValiação DO VOLUME APROVEITÁVEL DE ÁGUA PLUVIAL

O cálculo do reservatório foi realizado a partir de simulações de vazões de entrada e demandas diárias, conforme recomendado por MIERZWA *et al.* (2007), com base nas áreas de captação de água pluvial e nos índices pluviométricos cedidos pela Estação Meteorológica do aeroporto. As áreas foram estimadas a partir de imagens georreferenciadas utilizando o software ArcGIS 9.3 ©.

A vazão de entrada diária, correspondente ao volume coletável de precipitação, foi calculada de acordo com a Equação 1:

$$V_c = \frac{P \times A_c \times C}{1000} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

V_c = Volume coletável diariamente (m^3/d);

P = Precipitação diária (mm/d);

A_c = Área de coleta (m^2);

C = Coeficiente de aproveitamento da água interceptada (adimensional)

O coeficiente de aproveitamento de água interceptada pela área de cobertura utilizado foi de 0,7.

O balanço diário de vazões no reservatório de armazenagem foi calculado pela Equação 2:

$$V_1 = V_0 + V_c - V_s \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

V_1 = Volume armazenado diário (m^3);

V_0 = Volume contido no reservatório, considerando o dia anterior (m^3);

V_c = Volume coletável diário (m^3);

V_s = Volume consumido diário, correspondente a demanda integral ou parte dela (m^3).

Na Figura 1 apresenta-se um esquema da dinâmica do reservatório.

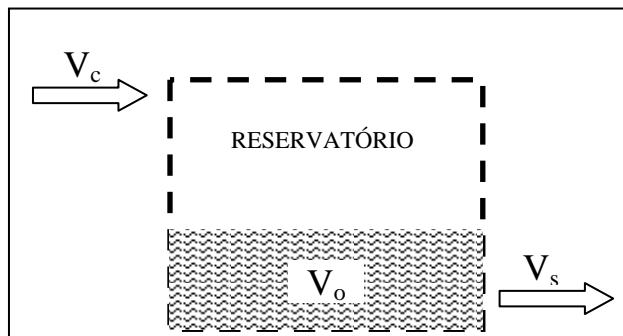


Figura 1: Esquema da dinâmica no reservatório

Através de uma planilha do software Excel, Microsoft®, simulou-se o volume potencialmente aproveitado em função da capacidade do reservatório e das demandas, de acordo com o balanço de vazões no reservatório.

Foram realizadas simulações para as edificações que apresentaram elevada demanda de água, considerando suas áreas de telhado. As edificações escolhidas estão apresentadas na Tabela 4. Considerou-se que os dados históricos são representativos para as condições futuras. Foram realizadas simulações do volume aproveitável, em função da capacidade do reservatório, considerando três cenários: (i) demanda atual, ou seja, demanda média diária, obtida a partir de planilhas de consumo mensal cedidas pela INFRAERO; (ii) acréscimo de 30% na demanda média diária atual e; (iii) redução de 30% na demanda média diária atual.

O volume potencial aproveitável de água pluvial corresponde: (i) nos dias em que a soma do volume coletável com o volume existente no reservatório é igual ou superior a demanda exercida, então o volume aproveitável é a demanda; (ii) nos dias em que a demanda é superior à soma do volume coletável com o volume de água existente no reservatório, então o volume aproveitável é o valor dessa soma. Assim considerou-se que a demanda pode ser totalmente ou parcialmente atendida pela água pluvial, não desprezando o volume capaz de atender parte dessa demanda.

A demanda diária foi obtida através dos dados de consumo mensal do aeroporto, do período de janeiro a dezembro de 2008, dividindo-se o valor mensal pelo número de dias do mês. Para efeito de cálculo não foram consideradas as variações diárias de demanda.

A partir das simulações obteve-se a quantidade de dias em que a demanda não foi atendida pela água pluvial, ou seja, correspondente ao número de dias de déficit no sistema. Estimou-se a economia de água para cada cenário e o tempo de amortização do investimento relativo à construção dos reservatórios. Considerou-se o valor de R\$ 3,30/m³ de água, correspondente ao valor cobrado pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), responsável pelo abastecimento do complexo aeroportuário.

Admitiu-se que os reservatórios seriam construídos em alvenaria. Os custos foram estimados com base na quantidade de materiais e serviços que deveriam ser utilizados como, concreto, aço, escavação, formas e impermeabilização. Os custos dos materiais foram obtidos da *Planilha Referencial de Preços Unitários para Obras de Edificação* de 2009 da Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais.

Os dias em déficit correspondem aos dias em que a soma do volume coletável de água pluvial com o volume de água pluvial existente no reservatório são inferiores à demanda. Foram consideradas duas situações, com déficit anual e déficit durante o período chuvoso (de outubro a março).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS

Os resultados das análises das amostras das águas estão apresentados na Tabela 2.

Observa-se na Tabela 2 a discrepância no teor de SST e nos resultados de outros parâmetros da amostragem realizada em maio de 2008. Entende-se que isso ocorreu em função do processo de evaporação da água armazenada que foi acelerado pela baixa umidade relativa do ar e pela constante incidência de raios solares sobre o reservatório durante parte do período de coleta.



Tabela 2: Resultados da amostragem de águas pluviais.

PARÂMETRO	UNIDADE	19/12/07	18/1/08	22/2/08	1/4/08	27/5/08	5/9/08	26/9/08	20/11/08	16/12/08
Oxigênio dissolvido	mg O ₂ L ⁻¹								7,05	
Temperatura	°C				26,3	25,3				
Condutividade elétrica	μScm ⁻¹				12	25	94		33	11
Turbidez	UNT				0,6	62	33	1		
pH	-				6,52	7,5	7,73		7,23	6,71
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	10	5	7	4	12	34	0	6	4
Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	7	6	2	ND*	14	40	4	11	4
Sólidos dissolvidos totais	mgL ⁻¹	42,5	8,5	17,5	47	40	161,5	44	30,5	15,5
Sólidos suspensos totais	mgL ⁻¹	ND*	1,5	2,5	ND*	96,5	99	3,5	16,5	8,5
Sólidos sedimentáveis	mLL ⁻¹	ND*	ND*	ND*	ND*	0,5	0,6	ND*	0,2	ND*
Nitrato	mgL ⁻¹							0,08		
Amônia	mgL ⁻¹							0,13		
Nitrogênio orgânico	mgL ⁻¹							0,42		
Fosfato	mgL ⁻¹							0,014		
DBO ₅	mg O ₂ L ⁻¹							0,3		
DQO	mg O ₂ L ⁻¹	ND*	5	2	1	28	20	9	7	1
Óleos e graxas	mgL ⁻¹	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
BTEX										
Benzeno	μgL ⁻¹		ND*		ND*		ND*		ND*	ND*
Tolueno	μgL ⁻¹		ND*		ND*		ND*		ND*	ND*
Etilbenzeno	μgL ⁻¹		ND*		ND*		ND*		ND*	ND*
Xileno (m,p-xileno)	μgL ⁻¹		ND*		ND*		ND*		ND*	ND*
Xileno (o-xileno)	μgL ⁻¹		ND*		ND*				ND*	ND*
Alumínio	mgL ⁻¹	ND*		ND*		1,53	1,77		0,63	ND*
Arsênio	mgL ⁻¹	ND*								
Bário	mgL ⁻¹	ND*								
Cádmio	mgL ⁻¹	ND*		ND*						
Cálcio	mgL ⁻¹					5,2	15,4		3,4	1,2
Chumbo	mgL ⁻¹	ND*		ND*						
Cobre	mgL ⁻¹	ND*								
Cromo total	mgL ⁻¹	ND*								
Estanho	mgL ⁻¹	ND*								
Ferro	mgL ⁻¹	ND*		0,07		2,95	1,9	0,12	0,32	ND*
Magnésio	mgL ⁻¹	0,1		0,09		0,28	0,49	0,36	0,61	0,24
Manganês	mgL ⁻¹	ND*								
Mercurio	mgL ⁻¹	ND*		ND*						
Níquel	mgL ⁻¹	ND*		ND*						
Prata	mgL ⁻¹	ND*								
Sódio	mgL ⁻¹						3,56			
Selênio	mgL ⁻¹	ND*				0,23			0,41	0,19
Zinco	mgL ⁻¹	0,62		0,68		1,82	1,96		1,19	0,66
<i>E.coli</i>	NMP100mL ⁻¹			ND*	ND*	ND*	110	ND*	ND*	68

*A expressão ND corresponde a concentrações não detectáveis.

As concentrações dos metais pesados As, Pb, Cd, Hg, Cr, Mn, Cu, Ba, Sn, Ni e Ag foram inferiores aos respectivos limites de detecção dos aparelhos de leitura. Esses limites são As e Cd < 0,01 mgL⁻¹; Pb, Cr, Mn, Cu, Ni e Ag < 0,05 mgL⁻¹; Sn e Ba < 0,5 mgL⁻¹; e Hg < 0,001 mgL⁻¹. A presença de zinco é justificada, possivelmente, pela composição da liga metálica das telhas e calhas do telhado.



As concentrações de BTEX observadas em todas campanhas foram inferiores ao limite de detecção dos aparelhos de leitura. Esses limites são benzeno $< 1 \mu\text{gL}^{-1}$; tolueno $< 1 \mu\text{gL}^{-1}$; etilbenzeno $< 1 \mu\text{gL}^{-1}$; xileno (m, p-xileno) $< 2 \mu\text{gL}^{-1}$; e xileno (o-xileno) $< 1 \mu\text{gL}^{-1}$.

Na Tabela 3 apresenta-se os padrões de qualidade da água pluvial conforme a ABNT NBR 15527/07, que fornece os requisitos para aproveitamento para usos restritivos não potáveis. Dentre esses usos estão descargas sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

Tabela 3: Variáveis de qualidade de água pluvial para usos restritivos não potáveis

VARIÁVEIS	UNIDADE	VALOR
pH	-	6 a 8
Turbidez	UNT	< 2
		$< 5^*$
<i>Coliformes totais</i>	NMP100mL ⁻¹	Ausência
<i>Coliformes termotolerantes</i>	NMP100mL ⁻¹	Ausência

* Para usos mais restritivos

FONTE: Adaptado de ABNT NBR 15527 (2007).

De maneira geral observa-se boa qualidade da água pluvial. Verifica-se que os valores de pH para água pluvial se adequaram aos valores estabelecidos pela norma de uso de água pluvial. Os valores das amostras referentes a turbidez atenderam em 50% aos valores padrões estabelecidos para usos mais restritivos.

Verificou-se a presença de *E. Coli.* em duas amostras de água pluvial, com valores da ordem de 1 a 2 unidades logarítmicas por cem mililitros.

A Tabela 4 apresenta os padrões recomendados para reuso para as atividades avaliadas nesse trabalho. Os valores fornecidos na tabela elaborada por Oenning Junior & Pawlowsky (2007) foi resultado do agrupamento dos padrões recomendados por EPA (2004), Metcalf & Eddy (2003), Portaria MS nº 518 (BRASIL, 2004) e Florencio (2006).

Tabela 4: Limites das variáveis físicas, químicas e microbiológicas para reuso

Variável	Unidade	Torres de resfriamento	Lavagem de pisos e irrigação de áreas verdes industriais	Descarga sanitária
pH	-	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Turbidez	UNT	3	2	5
DQO	mgL ⁻¹	75	-	-
DBO ₅	mgL ⁻¹	30	10	30
SST	mgL ⁻¹	30	-	-
SDT	mgL ⁻¹	500	1000	1000
<i>Coliformes totais</i>	NMP100mL ⁻¹	-	-	-
<i>Coliformes termotolerantes</i>	NMP100mL ⁻¹	200	Ausente	1000
Condutividade Elétrica	μScm^{-1}	800-1200	-	-
Dureza	mg CaCO ₃ L ⁻¹	50-180	500	500

FONTE: Adaptado de Oenning Junior, A. & Pawlowsky, U (2007).

A qualidade da água pluvial está de acordo com as recomendações de reuso em todas atividades listadas, em termos das variáveis pH, sólidos dissolvidos, condutividade elétrica e dureza.

A concentração de sólidos suspensos em duas amostragens foi superior à concentração limite recomendada para uso em torres de resfriamento.



Observaram-se valores de DQO inferiores a 30 mgL^{-1} em todas as campanhas de amostragem. Como os valores da variável DBO_5 devem ser inferiores aos valores de DQO, para uma mesma amostra, utilizaram-se os padrões de DBO_5 na comparação da qualidade da água pluvial com os padrões de reuso. Contudo verificou-se em todas as campanhas que os valores de DQO foram inferiores ao limite de DBO_5 exigido para torres de resfriamento e descarga sanitária. No entanto as amostras de água pluvial não se adequaram ao limite, em termos de DQO, em duas campanhas para as atividades lavagem de pisos e irrigação de áreas verdes.

Verificou-se os valores da qualidade da água pluvial relacionados a variável turbidez não atenderam os padrões exigidos, para todos usos relacionados, em 50% das amostras.

Em termos microbiológicos não foi detectada a presença de *E. Coli.* em 70% das amostras de água pluvial.

Conforme apresentado na Tabela 5, destaca-se a qualidade superior da água coletada no telhado em relação à água do sistema de distribuição em termos de alguns parâmetros. Observam-se elevados teores dos parâmetros dureza, SDT e cálcio na água do sistema de distribuição, devido, provavelmente, à composição do solo da região cárstica na qual está inserido o município de Vespasiano-MG, onde localiza-se o manancial subterrâneo utilizado para captação da água distribuída no aeroporto.

Tabela 5: Resultados da amostragem de águas do sistema de distribuição.

Variável	Unidade	Banheiro - manutenção	Banheiro – terminal de passageiros	Banheiro - terminal de cargas
DQO	mgL^{-1}	<1,00	<1,00	<1,00
Dureza total	$\text{mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$	206	202	208
SDT	mgL^{-1}	201,5	211,5	217
Cálcio	mgL^{-1}	77,6	73,6	76,8
Sódio	mgL^{-1}	5,73	4,03	4,28
Magnésio	mgL^{-1}	2,92	4,37	3,89
Zinco	mgL^{-1}	0,07	0,12	0,49

De acordo com RICHTER & NETTO (1991) a água distribuída no complexo aeroportuário pode ser enquadrada como Água Dura (entre 150 e $300 \text{ mgL}^{-1} \text{ CaCO}_3$), que pode proporcionar incrustações em tubulações e, quando aquecidas, problemas graves em caldeiras. Por isso, o uso dessas águas para fins industriais, como em sistemas de resfriamento de ar, deve ser precedido por um processo de remoção dos sais dissolvidos.

CONSUMIDORES POTENCIAIS

Na Tabela 6 apresenta-se a área de telhado e o consumo médio mensal dos pontos com potencial de instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial.

Tabela 6: Área de coleta e consumo médio dos consumidores potenciais.

Ponto	Área de Coleta (m^2)	Consumo médio mensal em 2008 (m^3)
Sistema de Resfriamento de Ar	33.252*	1.107
Prédio Principal da Manutenção (CFMA)	2.001	120
Prédio dos Bombeiros (SCI)	2.172	266
Prédio da Receita Federal	1.935	109
Prédio do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA)	2.416	341

(*) Corresponde a área de coleta do Terminal de Passageiros (TPS).

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE AR

Segundo SANTOS et al. (2005) a implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial juntamente com sistemas de resfriamento de ar pode ser um negócio economicamente e ambientalmente viável, mesmo que o retorno do investimento não seja a curto prazo.

O sistema de resfriamento do aeroporto é responsável pelo maior consumo individualizado de água do complexo aeroportuário, consumindo, em determinados meses, valores superiores a 1.500 m³/mês. Algumas simulações para o aproveitamento de água pluvial para este sistema podem ser visualizadas na Tabela 7. Destaca-se que é possível economizar cerca de 80% da demanda de água atual com um reservatório de 100m³. O tempo de amortização desse investimento seria pouco superior a um ano e um mês.

Considerando esta capacidade de reservatório e o incremento de 30% na demanda média o tempo de amortização seria inferior a 1 ano.

Tabela 7: Parâmetros calculados simulando a implantação do sistema de água pluvial para o sistema de resfriamento

Capacidade (m³)	Custo do reservatório (R\$)	Volume aproveitável (m³/ano)			Economia anual (%/ano)			Tempo de amortização (anos)		
		-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%
50	22.961	7.938	10.455	12.699	85	79	74	0,8	0,6	0,5
100	39.570	8.065	10.627	12.942	87	80	75	1,4	1,1	0,9
150	56.391	8.165	13.067	13.067	88	81	76	1,9	1,5	1,2
200	73.426	8.265	10.795	13.167	89	81	76	2,5	1,9	1,6
250	83.692	8.351	10.845	13.267	90	82	77	3,0	2,3	1,9
300	93.958	8.401	10.895	13.349	90	82	77	3,1	2,4	2,0
400	121.792	8.501	10.995	13.449	91	83	78	4,0	3,1	2,5
500	150.053	8.601	11.095	13.549	92	84	78	4,9	3,8	3,1
600	171.012	8.701	11.195	13.649	94	84	79	5,4	4,2	3,5

Na Tabela 8 apresentam-se os dias em déficit durante o ano e durante o período chuvoso. Observa-se que no período chuvoso é possível atender a demanda atual com um reservatório com capacidade igual ou superior a 150m³ sem existência de dias com déficit. Também é possível verificar que a diferença de déficit anual do reservatório de 100 m³ para o reservatório de 600 m³, considerando o consumo médio, é de apenas 24 dias, o que não justificaria um investimento para construção do segundo que é cerca de quatro vezes superior.

Tabela 8: Déficits calculados simulando a implantação do sistema de água pluvial para o sistema de resfriamento

Capacidade (m³)	Déficit (dias/ano)			Déficit no período chuvoso (dias)		
	-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%
50	101	140	167	2	6	10
100	88	130	156	0	2	6
150	80	123	151	0	0	2
200	75	122	149	0	0	1
250	70	120	145	0	0	0
300	66	118	143	0	0	0
400	59	113	140	0	0	0
500	52	109	137	0	0	0
600	42	106	134	0	0	0



Na Figura 2 relacionam-se o volume de água pluvial aproveitado no ano de acordo com a capacidade do reservatório, pode auxiliar na escolha da capacidade do reservatório. Observa-se grande a variação do volume aproveitado no intervalo de capacidades de reservatórios compreendidas entre 10 e 100 m³. Deste modo, a escolha do volume do reservatório deverá ser feito nesse intervalo, de maneira que seja obtida a maior taxa de volume aproveitado por unidade de volume do reservatório.

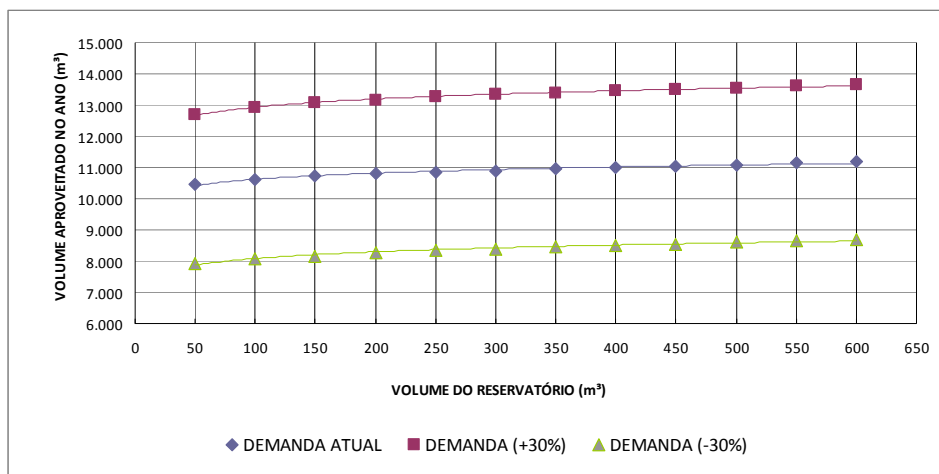


Figura 2: Volume do reservatório x volume de água pluvial aproveitado no ano para diferentes consumos do sistema de resfriamento

De acordo com a INFRAERO (2009b) a partir das obras de ampliação do Aeroporto Internacional Tancredo Neves espera-se ampliar a capacidade operacional do aeroporto de quatro para oito milhões de passageiros por ano. Sendo assim, a escolha do reservatório deve considerar o acréscimo na demanda.

PRÉDIO DO DTCEA

A edificação do DTCEA é responsável pelo controle do tráfego das aeronaves no aeroporto. A torre de controle localiza-se próxima a cabeceira da pista de pouso e decolagem, na área reservada a Força Aérea Brasileira (FAB). Nessa edificação observa-se que o consumo de água potável é proveniente da lavagem de pátios, irrigação de canteiros e usos em banheiros. Na Tabela 7 mostram-se o custo, o volume aproveitável, a economia e o tempo de amortização do investimento, conforme as capacidades do reservatório e as demandas. Verifica-se que para o consumo médio atual a economia anual é aproximadamente 46%, com tempo de amortização do investimento de 3,1 anos para um reservatório de 40 m³.

Tabela 7: Parâmetros calculados simulando a implantação do sistema de água pluvial para o edifício do DTCEA

Capacidade e (m³)	Custo do reservatório (R\$)	Volume aproveitável (m³/ano)			Economia anual (%/ano)			Tempo de amortização (anos)		
		-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%
20	13.793	1.425	1.793	1.982	51,1	45,0	38,2	2,5	2,0	1,8
30	19.346	1.435	1.813	1.992	51,4	45,5	38,4	38,8	2,6	2,3
40	25.004	1.445	1.833	2.002	51,8	46,0	38,6	4,0	3,1	2,9
50	27.606	1.455	1.852	2.012	52,1	46,5	38,8	4,5	3,5	3,2
60	30.209	1.465	1.862	2.022	52,5	46,7	39,0	5,6	4,4	4,0
70	36.076	1.475	1.872	2.032	52,9	47,0	39,2	5,7	4,5	4,1
80	38.730	1.485	1.882	2.042	53,2	47,2	39,4	6,3	5,0	4,6
90	41.384	1.495	1.892	2.052	53,6	47,5	39,6	6,9	5,4	5,0
100	47.460	1.505	1.902	2.062	53,9	47,7	39,8	7,4	5,9	5,4
150	64.676	1.555	1.952	2.112	55,7	49,0	40,8	10,2	8,1	7,5
200	86.359	1.605	2.002	2.162	57,5	50,2	41,7	12,8	10,3	9,5



A Tabela 8 apresenta o número de dias do ano e do período chuvoso em que a quantidade de água pluvial não é superior a demanda exercida. A diferença de dias deficitários entre os reservatórios de 50 m³ e 100 m³ para o consumo médio atual é de aproximadamente 10 dias tanto no período chuvoso quanto no restante do ano. Isto mostra que este reservatório menor seria mais indicado, pois a diferença de custo entre os dois está próxima de vinte mil reais.

Tabela 8: Déficits calculados simulando a implantação do sistema de água pluvial para o edifício do DTCEA

Capacidade (m ³)	Déficit (dias/ano)			Déficit no período chuvoso (dias)		
	-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%
20	209	235	276	2	23	62
30	208	229	274	1	17	60
40	206	226	273	0	14	59
50	205	222	271	0	10	57
60	204	220	268	0	8	54
70	202	218	267	0	6	53
80	201	216	265	0	4	51
90	201	213	264	0	1	50
100	199	212	262	0	0	48
150	194	208	256	0	0	42
200	188	205	248	0	0	34

A análise da Figura 3 sugere que a escolha da capacidade do reservatório seja de até 30 m³. Utilizando um reservatório de 30m³ seria possível economizar cerca de 45% da demanda atual, sendo que o investimento seria recuperado em aproximadamente 2,6 anos. No entanto em 17 dias não seria possível fornecer uma quantidade de água pluvial necessária para atendimento da demanda diária. Haveria apenas 1 dia em déficit considerando o mesmo volume utilizado anteriormente e uma redução de 30% da demanda.

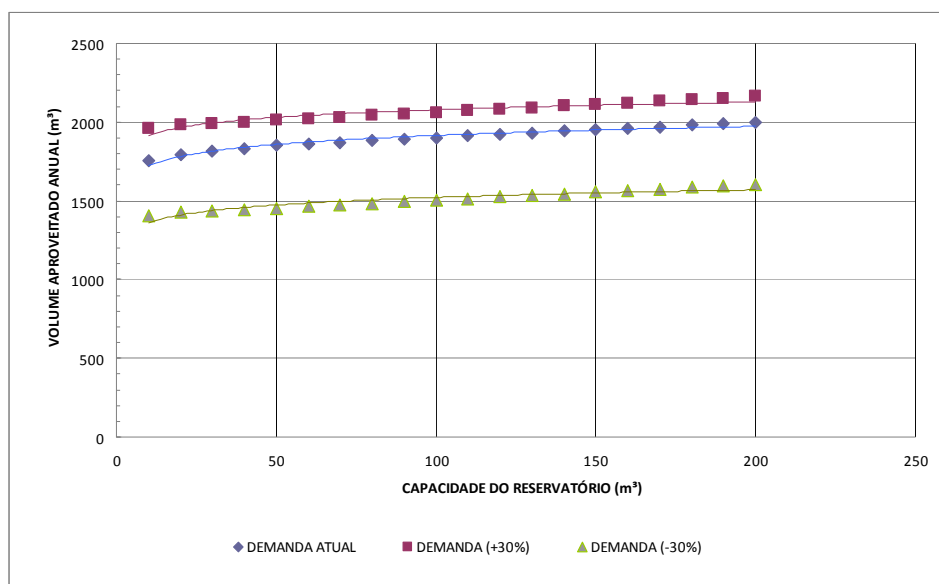


Figura 3: Apresentação do volume do reservatório x volume de água pluvial aproveitado no ano para diferentes consumos do edifício do DTCEA

PRÉDIOS INTEGRADOS – CFMA, BOMBEIROS E RECEITA FEDERAL

Os prédios da Manutenção, Bombeiros e Receita Federal localizam-se no setor administrativo do complexo aeroportuário e apresentam os mesmos usos de água, entre eles irrigação de jardins, lavagem de veículos,



lavagem de pátios e usos relacionados aos banheiros (bacias sanitárias, mictórios e lavatórios). Acrescentam-se as atividades relacionadas ao prédio dos Bombeiros constantes treinamentos de combate a incêndio no ambiente aeroportuário.

Considerando os usos de água semelhantes desses prédios e a proximidade entre eles elaborou-se a simulação do aproveitamento de água pluvial de forma integrada, de forma a atender a demanda diária conjunta.

Na Tabela 9 observa-se, o volume aproveitável, a economia e o tempo de amortização do investimento, conforme as capacidades do reservatório e demandas para esse conjunto de edifícios. Verifica-se que para o consumo médio atual é possível obter-se economia anual de 46 a 50%, considerando reservatórios com capacidade de 20 a 200m³. Nota-se que com tempo de amortização de no máximo 10 anos a economia anual chega próxima de 50% para simulações que consideram o consumo médio atual.

Tabela 9: Parâmetros calculados simulando a implantação do sistema de água pluvial para os três prédios integrados

Capacidade (m ³)	Custo do reservatório (R\$)	Volume aproveitável (m ³ /ano)			Economia anual (%/ano)			Tempo de amortização (anos)		
		-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%
20	16.000	2.240	2.811	3.279	53,1	46,6	41,8	1,1	0,9	0,8
30	20.000	2.255	2.826	3.302	53,4	46,9	42,1	1,6	1,3	1,1
40	24.000	2.266	2.841	3.319	53,7	47,1	42,3	2,0	1,6	1,4
50	28.000	2.271	2.856	3.334	53,8	47,4	42,5	2,5	2,0	1,7
60	36.000	2.281	2.883	3.361	54,0	47,8	42,9	2,8	2,2	1,9
70	56.000	2.306	2.923	3.411	54,6	48,5	43,5	3,6	2,8	2,4
80	80.000	2.336	2.953	3.471	55,3	49,0	44,3	3,6	2,9	2,5
90	104.000	2.366	2.983	3.531	56,1	49,5	45,0	4,0	3,2	2,7
100	160.000	2.436	3.053	3.657	57,7	50,6	46,7	4,4	3,5	3,0
150	64.676,34	1.580	3.003	3.571	37,4	49,8	45,6	6,6	5,3	4,4
200	86.359,27	1.630	3.053	3.657	38,6	50,6	46,7	8,4	6,7	5,6

Com a utilização de reservatórios com capacidade superior a 70m³ é possível atender a demanda atual em todos os dias do período chuvoso, obtendo economia de aproximadamente 48,5% com período de amortização de 2,8 anos. Considerando um aumento de 30% da demanda verifica-se que com reservatório de 100m³ o número de dias em déficit durante o período chuvoso chega a zero, conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10: Déficits calculados simulando a implantação do sistema de água pluvial para os três prédios integrados

Capacidade (m ³)	Déficit (dias/ano)			Déficit no período chuvoso (dias)		
	-30%	Demanda atual	+30%	-30%	Demanda atual	+30%
20	182	208	229	5	13	23
30	179	207	226	3	12	20
40	177	205	224	1	10	18
50	176	202	223	0	7	17
60	175	199	221	0	4	15
70	173	194	217	0	0	11
80	170	192	213	0	0	8
90	166	190	209	0	0	5
100	159	185	200	0	0	0
150	233	188	205	19	0	0
200	228	185	200	14	0	0

Com a utilização de reservatórios com capacidade superior a 70m^3 é possível atender a demanda atual em todos os dias do período chuvoso, obtendo economia de aproximadamente 48,5% com período de amortização de 2,8 anos. Considerando um aumento de 30% da demanda verifica-se que com reservatório de 100m^3 o número de dias em déficit durante o período chuvoso chega a zero, conforme mostrado na Tabela 10.

Pela Figura 4 observa-se que a tendência é obter-se um menor volume aproveitado por unidade de volume do reservatório. Contudo para capacidades de reservatório inferiores a 80m^3 nota-se expressivos incrementos no volume aproveitado anual, o que não é observado nos demais reservatórios.

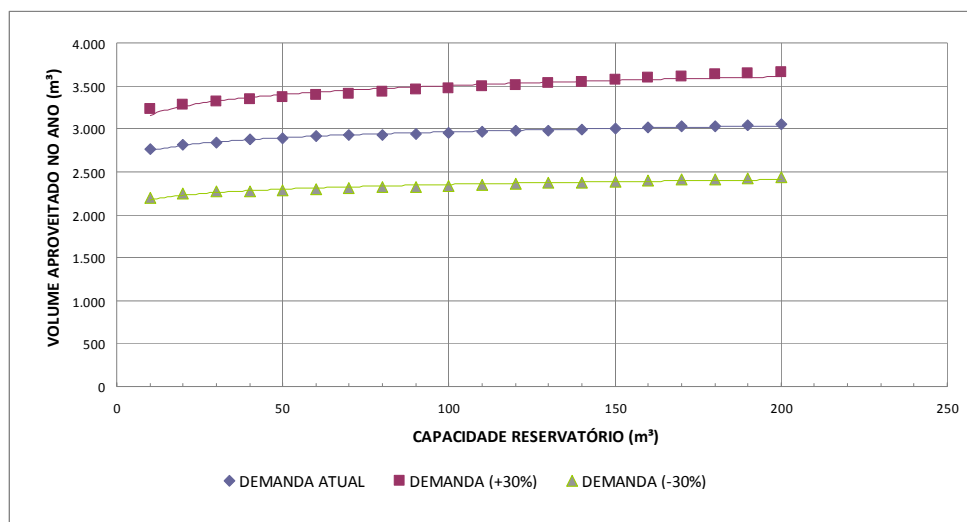


Figura 4: Apresentação do volume do reservatório x volume de água pluvial aproveitado no ano para diferentes consumos nos três prédios integrados

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerou-se que a água de chuva seria utilizada para fins não-potáveis. A água para consumo humano nos edifícios estudados deve ser proveniente de fontes externas ao sistema.

Para simulações mais precisas são necessários dados históricos de demandas diárias, de forma a reduzir a ocorrência de demandas extremas.

Para evitar contaminação, bem como a formação de biofilmes e proliferação de microorganismos na rede é necessário realizar o tratamento e desinfecção da água de chuva.

Não se avaliou os gastos provenientes da construção e manutenção dos sistemas de aproveitamento de água pluvial, que envolvem sistema de bombeamento, encanamento, calhas para coleta e tratamento, caso necessário. Tais gastos devem ser considerados para cálculo do tempo de amortização do investimento.

Não deve ser permitida mistura de água pluvial com a água potável distribuída pela concessionária de saneamento, para tanto é necessário a construção de um sistema individualizado de água pluvial. Esse sistema deve atender os requisitos descritos na ABNT NBR 15527/07.

O aproveitamento de água pluvial nas torres de resfriamento não exclui a necessidade do tratamento químico. Deve-se avaliar o tratamento necessário.

A avaliação da qualidade das águas pluviais e da demanda setorializada de água no complexo aeroportuário deve ser contínua.



CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A água pluvial apresentou boa qualidade, satisfazendo o padrão exigido, na maioria das variáveis analisadas, para as atividades potenciais avaliadas no Aeroporto Internacional Tancredo Neves.

A redução do consumo de água potável, aliado à minimização dos gastos relacionados ao tratamento da água do sistema de distribuição, comprova a viabilidade da utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Ressalta-se a importância de estudos como este para dimensionamento adequado de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

É importante ressaltar, a necessidade de se realizarem estudos detalhados da qualidade da água pluvial e dos dados de precipitações diárias na região antes da implantação de um sistema semelhante ao descrito neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Finep, convênio 01.06.1065-00 pelos recursos financeiros do projeto de pesquisa, ao CNPq Proc 520104/2007-2 pelas bolsas, a FAPEMIG pelos recursos para participação no evento e a toda equipe da INFRAERO do Aeroporto Internacional Tancredo Neves pelo apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. São Paulo, 2007. 11 p.
2. BAA. Heathrow Airport. Corporate Responsibility Report 2006/07. Disponível em: < http://www.heathrowairport.com/portal/page/CRmicrositesLHR07%5ELocal+community%5EThe+local+environment%5EWater+use/6a4904d3bdc63110VgnVCM10000036821c0a_/448c6a4c7f1b0010VgnVCM200000357e120a/ >. Acesso em: 14 mai 2009a.
3. BAA. Heathrow Airport. Cutting emissions from airport buildings. Disponível em: < http://www.heathrowairport.com/portal/controller/dispatcher.jsp?CiID=9e81875427b54110VgnVCM2000039821c0a_&ChID=4f5b9733b2c55110VgnVCM10000036821c0a_&Ct=B2C_CT_GENERAL&CiID=448c6a4c7f1b0010VgnVCM200000357e120a_&ChPath=Home^Heathrow^General^Our+business+and+community^Heathrow+and+climate+change^Cutting+emissions+from+airport+buildings >. Acesso em: 14 mai 2009b.
4. BARCELOS, B. R.; FELIZZATO, M. R. Aproveitamento das Águas Atmosféricas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, Campo Grande, MS, 2005. Anais. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2005. CD- ROM.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº. 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humana e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 2004. 34p.
6. COSCH - USO RACIONAL DA ÁGUA. Aeroporto Santos Dummont. Disponível em: < <http://www.cosch.com.br/cases/aeroporto/> >. Acesso em: 17 mai. 2009.
7. EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108, Washington, DC, September, 450 p, 2004.
8. FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M., (Coordenadores). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. FINEP/PROSAB 4 Tema 2, Rio de Janeiro, 427p., 2006.
9. INFRAERO. Aeroporto do Galeão completa 32 anos. 19 jan. 2009. Disponível em: < <http://www.infraero.com.br> >. Acesso em: 12 mai. 2009a.
10. INFRAERO. Sinal verde para obras de reforma e adequação do Aeroporto de Confins. 26 mar. 2009. Disponível em: < <http://www.infraero.com.br> >. Acesso em: 12 mai. 2009b.
11. MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.



12. METCALF & EDDY, INC. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th. ed. – New York: McGraw-Hill, 1819 p, 2003.
13. MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I.; SILVA, M. C. C. da; RODRIGUES, L. Di B. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. REGA, v.4, no. 1, p. 29-37, jan./jun. 2007.
14. OENNING JUNIOR, A.; Pawlowsky, U. Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.12, n. 3, p. 305-316, jul/set. 2007.
15. RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. Tratamento de água – Tecnologia Atualizada. 1991. Editora Edgard Blucher Ltda. 3a impressão, 2000. 132p.
16. SANTOS, M. A. M; CAMARGO, J. R.; JÚNIOR, E. D. Influência econômica e implicações da utilização de água pluvial nos sistemas de resfriamento evaporativo-adsorativo aplicados em condicionamento de ar. Rev. ciênc. exatas, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 39-46, 2005.