

Tomada de decisão entre a produção de água não potável em edifícios residenciais e água potável no sistema produtor são lourenço¹**Decision making between production of non-drinking water in residential buildings and potable water in the producer system are lourenço**

DOI:10.34117/bjdv5n8-006

Recebimento dos originais: 14/07/2019

Aceitação para publicação: 12/08/2019

Renato Augusto Patucci

Doutor em Ciências - Engenharia de Construção Civil e Urbana pela Universidade de São Paulo - USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2/83, Cidade Universitária, São Paulo – SP, Brasil

E-mail: rpatucci@gmail.com

Viviane Grion Mielli

Graduanda em Engenharia de Produção na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Rua Dominique Lagru, 71, apto 154, bloco B - Jardim Ester, São Paulo – São Paulo, Brasil

E-mail: viviane.mielli@usp.br

Lúcia Helena de Oliveira

Doutor em Ciências - Engenharia de Construção Civil e Urbana pela Universidade de São Paulo - USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2/83, Cidade Universitária, São Paulo – SP, Brasil

E-mail: lucia.helena@usp.br

Fernando Akira Kurokawa

Doutor em Ciências - Ciências de Computação e Matemática Computacional pela Universidade de São Paulo - USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2/83, Cidade Universitária, São Paulo – SP, Brasil

E-mail: fernando.kurokawa@usp.br

RESUMO

O crescimento populacional e a variabilidade climática estão contribuindo para a quantidade de população que vive em estresse hídrico. Existem fontes alternativas de água não potável que podem atender parte da demanda residencial como a água recuperada. O objetivo deste estudo é formular um modelo matemático para a tomada de decisão entre a ampliação do

¹ PATUCCI, R. P.; OLIVEIRA, L. H.; KUROKAWA, F. A.; MIELLI, V. G. Tomada de decisão entre a produção de água não potável em edifícios residenciais e água potável no Sistema Produtor São Lourenço. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2018, São Paulo. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2018.

sistema tradicional de água potável centralizada e a implantação de sistemas de água não potável (NPWS) na região metropolitana de São Paulo. Por meio de revisão bibliográfica, verificou-se que cerca de 20% dos usos domésticos de água são para necessidades não potáveis. Foram coletados dados de construção, operação e manutenção de um sistema de construção de água não potável e de um Sistema de Produção São Lourenço centralizado em água potável (SLPS). A simulação feita nos primeiros 20 anos de operação, mostrou que o SLPS tem os menores custos acumulados, mas 10 edifícios compartilhando uma NPWS centralizada têm valores relativamente próximos para o SLPS, portanto outros fatores como o desempenho ambiental podem ser decisivos na escolha a solução mais apropriada.

Palavras-chave: Sistema de água não potável. Sistema de água potável. Tomando uma decisão. Programação inteira.

ABSTRACT

The population growth and the climatic variability is contributing to the amount of population living in water stress. There are alternative sources of non-potable water that can attend part of the residential demand like the reclaimed water. The aim of this study is to formulate a mathematical model for decision making between the enlargement of traditional centralized potable water system and the implementation of non-potable water systems (NPWS) in the metropolitan area of São Paulo. By bibliographic review it was verified that around 20% of water domestic uses are for non-potable needs. It was collected data of construction, operation and maintenance of a non-potable water building system and of a potable water centralized São Lourenço Production System (SLPS). The simulation made for the first 20 years of operation, showed that the SLPS has the lowest accumulated costs, but 10 buildings sharing a centralized NPWS have relatively close values to the SLPS, so other factors, such as environmental performance, can be decisive in choosing the most appropriate solution.

Keywords: Non-potable water system. Potable water system. Decision-making. Integer programming.

1 INTRODUÇÃO

Populações com disponibilidade de água entre 500 e 1.700 m³/hab./ano vivem em condições de estresse hídrico (ANA, 2007) e segundo Daiger (2009), estima-se que 45% da população mundial em 2025 vivem nessas condições.

O adensamento populacional, além de reduzir a disponibilidade hídrica por habitante, exerce forte pressão no aumento do consumo e na redução da qualidade dos mananciais existentes. Para restabelecer o equilíbrio entre a oferta e a demanda, é necessário que sejam desenvolvidos métodos e sistemas alternativos para a ampliação da oferta como, por exemplo, a utilização de água não potável (SAUTCHÚK et al. 2005).

Devido ao fato de fontes alternativas gerarem novos recursos de água, a implementação dessas possibilita que futuras ampliações do sistema de abastecimento centralizado sejam evitadas ou prorrogadas (DAIGER,2009). Atualmente, na Região

Metropolitana de São Paulo (RMSP) a ampliação do sistema centralizado de produção de água potável é representada pela construção do Sistema Produtor São Lourenço (SPSL).

Nesse sentido, o objetivo deste artigo é formular um modelo matemático de tomada de decisão para verificar se o sistema predial de água não potável recuperada (SPANP-R) em edifícios residenciais na RMSP pode ser uma fonte de água alternativa economicamente viável, em relação ao fornecimento centralizado de água potável pelo SPSL.

2 FONTES DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO URBANO

A demanda crescente de água potável é majoritariamente atendida pelo sistema centralizado de abastecimento, em que se verificam problemas de escassez e de ordem econômica, devido às distâncias, cada vez maiores, dos mananciais, bem como, à necessidade de tratamentos mais intensos causados pela poluição da água (OLIVEIRA e GONÇALVES, 1999). O reúso potável indireto não planejado é praticado extensivamente no Brasil, consiste no lançamento de esgotos (tratados ou não) e coletados à jusante para tratamento e abastecimento público (HESPANHOL, 2015). No entanto, uma parte da demanda poderia ser suprida por água não potável para os usos que prescindam de água potável em edifícios residenciais.

Estudos que apresentam a participação da utilização de água na bacia sanitária no consumo total em domicílios têm resultados diversos em função de variáveis como local, fatores climáticos, fatores culturais e outras. No Brasil, Rodrigues (2006) verificou que a participação do consumo de água em bacias sanitárias representou 20% do consumo total residencial, Sant'ana (2013) 15,3% e Oliveira *et al.* (2009) avaliaram que este uso representou 20% e 16% do consumo doméstico em dois diferentes cenários. Na Austrália, segundo Loh e Coghlan (2003), o consumo de bacias sanitárias nas residências varia de 17% a 21%.

Um fator importante para obtenção de economia no consumo de água potável, quando da utilização de SPANPs, é quanto ao comportamento dos usuários. Uma experiência mal sucedida na cidade de São Paulo demonstrou resultados pouco expressivos (FERREIRA e OLIVEIRA, 2018).

2.1 SISTEMA CENTRALIZADO DE PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NA RMSP

A ampliação da oferta no Sistema Interligado Metropolitano (SIM) da RMSP atualmente corresponde a obras do SPSL para realizar a captação de água no Rio Juquiá na

vazão de 4,7 m³/s. Trata-se de 48 km de adutora de água bruta, 31 km de adutora de água tratada, 14 km em 4 subadutoras e 40 km de linha de transmissão. Além disso, apresenta outras estruturas como a captação, estações elevatórias, subestações, estação de tratamento de água (ETA), chaminés de equilíbrio, reservatórios, estruturas de controle, situadas em 11 municípios (SABESP, 2011).

2.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL

As fontes alternativas de água não potável de águas cinzas são aquelas advindas de aparelhos sanitários, excluindo os efluentes de bacias sanitárias (MARQUES e OLIVEIRA, 2014). Oliveira *et al.* (2014) indica que os sistemas descentralizados individuais são aqueles que atendem a um único edifício e em grupo quando atendem a um conjunto de edifícios. No âmbito deste trabalho, coletaram-se dados de custos de construção, operação e manutenção de um edifício no bairro da Saúde na cidade São Paulo de cinquenta e seis unidades. Com base nas referências apresentadas, considera-se que as parcelas de consumo de água potável e não potável dos apartamentos é de 80% e 20% respectivamente.

Dessa forma, para avaliar o ganho de eficiência decorrente do aumento da escala das diferentes configurações dos sistemas, foi realizada a simulação dos custos de implantação do SPANP em dois edifícios para atender cento e doze apartamentos, correspondendo a um sistema descentralizado em grupo, e dez edifícios com quinhentos e sessenta apartamentos, correspondendo a um sistema centralizado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar as experiências de implantação de SPANP com fonte de águas cinzas em diferentes locais, bem como estabelecer a comparação de produção de água potável em macroescala em relação à produção de água não potável em microescala, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto.

Em seguida, foram coletados dados relativos aos custos de implantação, operação e manutenção do SPANP de um edifício residencial na RMSP e do SPSL. Com esses dados foi possível formular um modelo matemático para tomada de decisão baseada no problema de Programação Inteira (PI). A solução do problema foi obtida através do *software* LINDOTM.

4 ESTUDO DE CASO

Avaliando-se a população atendida pelos dois sistemas em análise, estabeleceu-se que o edifício do estudo de caso que utiliza o sistema descentralizado individual abriga uma população de aproximadamente 224 pessoas, o sistema descentralizado em grupo, 448 pessoas e, o sistema centralizado, 2.240 pessoas. Considerou-se que a parcela de água que pode ser substituída por fonte não potável representa 20% do total, desta forma a população equivalente atendida pelo SPANP-R é de 45, 90 e 448 pessoas respectivamente. O SPSL tem uma produção média de 4.700 L/s e atende um total de 1.966.131 pessoas.

Os dados de custo de construção do SPANP-R foram obtidos diretamente com a construtora em que são compostos pelos custos do sistema de tratamento e pela infraestrutura de obras e tubulações necessárias para coletar as águas cinzas, conduzi-las ao sistema de tratamento, transportar a água recuperada para um reservatório superior e distribuir aos pontos das bacias sanitárias. Os custos de manutenção e operação foram obtidos pela administração do condomínio, por meio da avaliação dos contratos de prestação do serviço, do levantamento da mão de obra de zeladoria e, do histórico das despesas de manutenções verificadas.

Os custos de construção do SPSL foram obtidos do contrato de concessão administrativa de 25 anos. Para que os fluxos financeiros sejam equivalentes, realizou-se o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) do contrato de construção do SPSL, devido à diferença no perfil de desembolso deste investimento em relação à implantação do SPANP-R. Para os custos de operação e manutenção, considerou-se as despesas com energia elétrica, decorrentes da diferença altimétrica entre a captação e o sistema de tratamento, que demandam a pressurização da rede em 3.500 KPa.

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS

Pelo fato dos diversos valores envolvidos neste trabalho terem apuração em diferentes datas, todos eles foram trazidos a uma mesma data base, abril de 2014, com o emprego de índices de inflação e índices de atualização dos contratos em questão. Em seguida, todos eles foram transformados para moeda dólar. A apresentação dos dados coletados e tratados encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – População, custos de implantação, manutenção e operação

Sistema	População equivalente atendida	Custo de implantação (US\$)	de Custo de manutenção (US\$/ano)	Custo de operação (US\$/ano)
----------------	---	--	--	---

SPANP-R	descentralizado		70.957	8.309	834
individual		45			
SPANP-R	descentralizado em		129.677	9.970	1.425
grupo		90			
SPANP-R	centralizado	448	566.739	16.617	5.502
SPSL		1.966.131	1.464.826.454	7.406.554	148.131.086

Fonte: Os autores

4.2 FORMULAÇÃO DO MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO

De acordo com Dias *et al.* (2017), um modelo matemático para tomada de decisão de um problema de PI, que visa obter o menor custo acumulado entre alternativas, é dado por uma função objetivo (Z) de expressão linear cujo valor se pretende minimizar (MIN) e que está sujeita à (s.a.) restrições das variáveis de decisão. Assim, com base nos dados dos custos de implantação, manutenção e operação da Tabela 1, a formulação do modelo para deste estudo de caso é dada pela Equação (1).

$$\begin{aligned}
 & \text{(MIN)Z} \\
 & = A_{11}X_{11} + A_{12}X_{12} + A_{13}X_{13} + A_{21}X_{21} + A_{22}X_{22} + A_{23}X_{23} + A_{31}X_{31} + A_{32}X_{32} + A_{33}X_{33} + \dots + A_{41}X_{41} \\
 & + A_{42}X_{42} + A_{43}X_{43} \\
 & \text{s. a.} \quad \left\{ \begin{aligned}
 & X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} = 1 \\
 & X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} = 1 \\
 & X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} = 1 \\
 & X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
 & X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
 & X_{12} - X_{11} \leq 0 \\
 & X_{13} - X_{12} \leq 0 \\
 & X_{22} - X_{21} \leq 0 \\
 & X_{23} - X_{22} \leq 0 \\
 & X_{32} - X_{31} \leq 0 \\
 & X_{33} - X_{32} \leq 0 \\
 & X_{42} - X_{41} \leq 0 \\
 & X_{43} - X_{42} \leq 0 \\
 & X_{ij} \in \{0,1\}
 \end{aligned} \right. \tag{1}
 \end{aligned}$$

Sendo que X_{ij} retrata a implantação ou não de determinado sistema, i corresponde ao tipo de sistema ($i = 1, 2, 3$ e 4) e j o tipo de custo associado ($j = 1, 2,$ e 3). Os coeficientes A_{ij} da função objetivo representam os custos de instalação, operação e manutenção dos sistemas. De forma a avaliar os custos iniciais de implantação e os acumulados durante a vida útil dos

sistemas. Na Tabela 2 estão apresentados os investimentos *per capita* para a implantação do sistema e os custos acumulados de manutenção e operação nos 5º, 10º, 15º e 20º anos.

Tabela 2 – Coeficientes A_{ij} para implantação, 5º, 10º, 15º e 20º anos

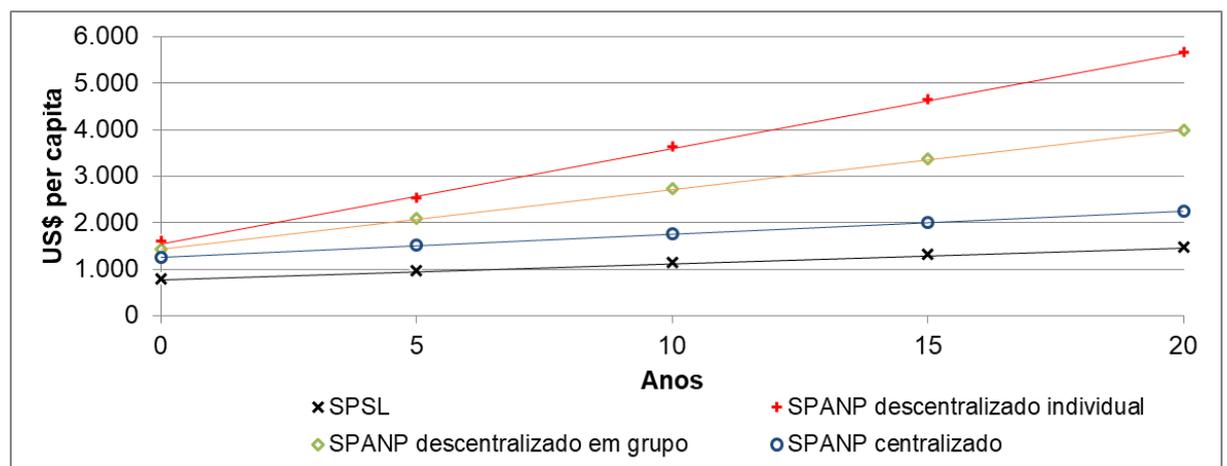
Implantação (US\$ <i>per capita</i>)	Custo Manutenção (US\$ <i>per capita</i>)					Custo Operação (US\$ <i>per capita</i>)				
	Anos	5º	10º	15º	20º	Anos	5º	10º	15º	20º
A ₁₁ 1.577	A ₁₂	93	185	278	371	A ₁₃	923	1.846	2.770	3.693
A ₂₁ 1.411	A ₂₂	79	158	238	317	A ₂₃	544	1.108	1.662	2.216
A ₃₁ 1.265	A ₃₂	61	123	184	246	A ₃₃	185	371	556	742
A ₄₁ 763	A ₄₂	8	17	25	33	A ₄₃	167	333	500	667

Fonte: Os autores

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o modelo formulado e as informações disponíveis, simularam-se os custos acumulados *per capita* de implantação, manutenção e operação dos sistemas para o ano inicial, 5º, 10º, 15º e 20º anos com o uso do software LINTO™, os resultados encontram-se apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Custo total acumulado durante a vida útil dos sistemas



Fonte: Os autores

A partir dos resultados apresentados na Figura 1, observa-se que as curvas referentes ao SPSL e ao SPANP centralizado são equivalentes com os custos de operação e manutenção

per capita proporcionais durante os 20 anos de serviço. O custo superior de implantação do SPANP centralizado faz com que a opção mais econômica seja a implantação do SPSL. No entanto, a ampliação do sistema de água potável com a importação de recursos hídricos de outra bacia hidrográfica implica em impactos como maiores volumes de esgotos e custos para o tratamento, não avaliados nesta pesquisa.

Este é um aspecto econômico relevante, mas além dele outras questões, como a ambiental e energética, devem ser consideradas na discussão quanto à viabilidade da fonte alternativa.

Os sistemas descentralizados individuais e em grupo apresentam custos de operação e manutenção mais elevados que o SPSL e SPANP centralizado durante sua vida útil, tornando-se opções pouco viáveis para a utilização em larga escala.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista econômico, ao qual este trabalho se restringe, verifica-se que a utilização de SPANP-R centralizado é uma alternativa que apresenta uma ordem de grandeza proporcional de custo *per capita* em relação ao Sistema Produtor São Lourenço. Outro fator importante em favor dos SPANP-R, não considerado neste trabalho, é a redução da necessidade de sistemas de tratamento de esgoto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, processo nº 2017/17477-5, pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil** – Caderno de Recursos Hídricos 2. Brasília, 2007.

DAIGER, G. T. Evolving Urban Water and Residuals Management Paradigms: Water Reclamation and Reuse, Decentralization and Resource Recovery. **Water Environment Research**, v. 81, n. 8, p. 809-823, 2009.

DIAS, C. M.; OLIVEIRA, L. H.; KOROKAWA, F. A. A mathematical model for decision-making of a non-potable water system in residential buildings: decentralized in clusters or individual decentralized? **International Symposium of CIB W062**, v.1, p.283-293, 2017.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Plano diretor de aproveitamento de recursos hídricos para a Macrometrópole Paulista, no Estado de São Paulo** – Relatório Final – v. 1. São Paulo, 2013.

DIAS C.M. **Modelos para a tomada de decisão quanto ao tipo de sistema predial de água não potável**. 2017. 221 p. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 28 abr. 2017.

FERREIRA, T. V.; OLIVEIRA, L. H. Sistema descentralizado individual de água não potável: a necessidade da gestão da qualidade e da quantidade. **Ambiente Construído**. v. 18, p. 379-392. 2018

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A (EMPLASA). **Macrometrópole Paulista**. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/MMP>>. Acesso em: 9 set. 2017.

HESPANHOL, I. Reúso potável direto e o desafio dos poluentes emergentes. **Revista USP**. v.106, p. 79-94, 2015.

MARQUES, I. G.; OLIVEIRA L. H., **Padronização de terminologia e de conceitos de sistemas prediais de água não potável**. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). São Paulo, 2014. 9 p.

OLIVEIRA, L. H., GONÇALVES O. M., **Metodologia para implantação de programa de uso racional da água em edifícios**. 1ª ed. São Paulo; EPUSP-PCC, 1999. 18 p.

OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES O. M.; UCHIDA C. Performance evaluation of dual-flush WC cistern in a multifamily building in Brazil. **Building services engineering research and technology**, v. 30, p. 27-36, 2009.

OLIVEIRA, L. H.; CORRÊA F. R.; SANTOS, M. O. Sistemas de água não potável: centralizados ou descentralizados? **Revista Hydro**, v. 88, p. 54-57, 2014.

SAUTCHÚK, C. A. *et al.* **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo, 2005, 152 p. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-de-aguas-em-edificacoes-2005>>. Acesso em 25 de agosto de 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 2 nov. 2017.