

Desenvolvimento de rotina computacional com algoritmos genéticos para otimização do custo do consumo da água por análise de dispositivos economizadores de água

Development of computational routine with genetic algorithms to optimize the cost of water consumption through water-saving devices analysis

Desarrollo de rutina computacional con algoritmos genéticos para optimizar el costo del consumo de agua mediante el análisis de dispositivos ahorradores de agua

Recebido: 13/08/2021 | Revisado: 19/08/2021 | Aceito: 23/08/2021 | Publicado: 24/08/2021

Jayme José Andretta Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1753-5023>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: jayme.andretta@gmail.com

Fernando das Graças Braga da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3803-2257>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: ffbraga.silva@gmail.com

Alex Takeo Yasumura Lima Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1883-2414>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: alex.takeo@uol.com.br

José Antônio Tosta dos Reis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9916-1469>
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
E-mail: jatreis@gmail.com

Resumo

O consumo racional de água residencial é uma das principais questões ambientais na sociedade, visto que este representa um importante fatia do consumo de recursos hídricos. Assim, desenvolveu-se um algoritmo para auxílio na otimização do uso de dispositivos hidráulicos em ambientes residenciais, testando essa proposta em um ambiente residencial genérico. Para alcançar este objetivo, foram feitas pesquisas mercadológicas e de referência técnica para colher dados dos dispositivos hidráulicos e posteriormente utilizado a técnica de algoritmo genético para o processamento da otimização. Como resultado foi encontrado um conjunto de cenários ótimos para a utilização dos dispositivos, garantindo a maior economia de água com o menor custo. Concluiu-se que o trabalho conseguiu propor uma rotina de otimização que pode ter aplicabilidade satisfatória para tomada de decisões na otimização do uso dispositivos hidráulicos residenciais.

Palavras-chave: Dispositivos economizadores de água; Algoritmos genéticos; Otimização.

Abstract

The rational consumption of residential water is one of the main issues to be addressed in today since it represents an important part of the consumption of water resources in our society. Aware of this, an algorithm was developed to aid in the optimization of the use of hydraulic devices in residential environments, testing this proposal in a generic residential environment. In order to reach this objective, market surveys and technical reference were made to collect data from the hydraulic devices and later the genetic algorithm technique was used for optimization processing. As a result, we found a set of optimal scenarios for the use of the devices, ensuring greater water savings at the lowest cost. It was concluded that the work proposes an optimization routine that can have satisfactory applicability for decision making in the optimization of the use of residential hydraulic devices.

Keywords: Water-saving devices; Genetic algorithms; Optimization.

Resumen

El consumo racional de agua residencial es uno de los principales temas a abordar en la actualidad ya que representa una parte importante del consumo de recursos hídricos en nuestra sociedad. Consciente de ello, se desarrolló un algoritmo para ayudar en la optimización del uso de dispositivos hidráulicos en entornos residenciales, probando esta propuesta en un entorno residencial genérico. Para alcanzar este objetivo se realizaron estudios de mercado y referencia técnica para la recolección de datos de los dispositivos hidráulicos y posteriormente se utilizó la técnica del algoritmo genético para el procesamiento de optimización. Como resultado, encontramos un conjunto de escenarios óptimos para el uso de los dispositivos, asegurando un mayor ahorro de agua al menor costo. Se concluyó que el

trabajo propone una rutina de optimización que puede tener una aplicabilidad satisfactoria para la toma de decisiones en la optimización del uso de dispositivos hidráulicos residenciales.

Palabras clave: Dispositivos Ahorradores De Água; Algoritmos Genéticos; Optimización.

1. Introdução

A gestão de recursos hídricos em centros urbanos é um dos grandes problemas da atualidade pois estão particularmente vulneráveis a escassez devido a sua localização distante dos mananciais que lhes servem, bem como a alta pressão exercida pela elevada densidade populacional. Na Europa, ao menos 11% da população é afetada de alguma forma pela escassez de recursos hídricos desde 2017, e espera-se que as mudanças climáticas agravem a situação cada vez mais. (Hervás-Gámez & Delgado-Ramos, 2019; Stavenhagen et al., 2018; Torres-Bagur et al., 2019). Como um exemplo pode-se mencionar a região de Londres, submetida a um elevado estresse hídrico pela sua alta concentração populacional e disponibilidade hídrica inferior até mesmo a alguns países da África, ressaltando então a importância de medidas para racionalizar o consumo (Nawaz et al., 2019).

No Brasil, as grandes regiões metropolitanas como a de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte já enfrentam cenários de escassez durante períodos de secas, ameaçando a segurança hídrica da população (ANA, 2019). O trabalho de Dias et al. (2018) mostra um consumo per capita no sul do Brasil variando de 149,39 litros por pessoa por dia até 335,67 litros por pessoa por dia. Campanhas de conscientização podem ser eficazes, conforme Jaime et al. (2018), que apontam uma redução de 5,8% do consumo seis meses após as campanhas de conscientização, contudo, para a atual realidade dos centros urbanos torna-se necessário uma economia maior, que só pode ser atingida com o uso de dispositivos que permitam a economia de água.

Assim, percebe-se que tecnologias que reduzam o uso de água neste nicho tem importante contribuição no objetivo de se utilizar melhor este recurso. Assim, de uma forma geral, o desenvolvimento de tecnologias que reduzissem o consumo dos pontos hidráulicos residenciais como por exemplo o uso de aeradores em torneiras e descargas duplas ocorreu em muitos países onde a necessidade de economia de água mostrou-se imprescindível (Ali et al., 2020; Morote et al., 2019; Tam et al., 2019). No entanto, deve-se levar em conta também que até mesmo fatores sociodemográficos podem influir no desempenho dos dispositivos como observado por Willis et al. (2013). Wang e Dong (2017) apontam em seu trabalho que em Fresno, California, os usuários que responderam a pesquisa e se consideravam usuários intensivos de água na realidade usavam menos do que imaginavam.

O trabalho de Manouseli et al. (2019) avaliou o desempenho de um programa de eficiência hídrica doméstica no sudeste da Inglaterra através de análises estatísticas, mostrando que as casas participantes do programa conseguiram uma redução de cerca de 15% do consumo de água. Já o trabalho de Tirado et al. (2019) aborda a adoção de medidas de economia de água em hotéis na região de Mallorca, dentre elas a adoção de dispositivos economizadores de água, cujo tempo de retorno de investimento compreende de dois meses a até três anos. A adoção das medidas pelos hotéis é também justificada pela redução de custos com água, mostrando também a importância econômica da instalação de dispositivos economizadores. Sousa, Silva e Meireles (2019) também apontam vantagens no uso dos dispositivos em edificações comerciais, apontando um período de retorno de investimento de cerca de 10 anos, justificando sua implantação não apenas pelas vantagens ambientais, mas também econômicas. Vantagens ambientais que também são encontradas no trabalho de Marinoski, Rupp e Ghisi (2018), que apontam também a redução da geração de efluentes (esgoto) destinados ao tratamento.

Já Vieira et al. (2017) utilizam indicadores de desempenho para avaliar a eficiência dos economizadores, observando que um dos piores itens em economia de água é a descarga simples, devido ao seu alto consumo. Alexandre et al. (2017) mostram em seu trabalho a quantificação do impacto da troca de torneiras convencionais por torneiras aeradas em uma instituição de ensino superior, analisando também a influência de variáveis como a temperatura e o número de alunos através de um modelo de regressão linear, concluindo que a simples troca das torneiras reduziu 12,34% o consumo de água total diário

na instituição. O potencial de economia em uma residência de densidade média é indicado por Byrne et al. (2020), sendo possível até uma redução de 65% no consumo em relação a uma residência de mesmas características sem dispositivos de economia de água.

Como existem diversos dispositivos economizadores de água, há a dificuldade de encontrar uma combinação de produtos economizadores para uma residência com um custo aceitável de implementação. Assim, buscou-se uma abordagem envolvendo o processamento de soluções com algoritmos genéticos para encontrar uma solução ótima que permita a máxima economia de água com o menor custo de implementação possível, de forma a obter retorno do investimento feito em menor tempo. Assim, o objetivo deste artigo é elaborar uma rotina computacional que otimize os custos de consumo e aquisição de dispositivos hidráulicos, testando essa proposta em um ambiente residencial genérico, sendo considerada também a escassez de trabalhos na área com a abordagem de otimização por algoritmos genéticos.

2. Metodologia

Este trabalho teve sua metodologia dividida em três etapas, divididas em: criação de um ambiente residencial genérico; pesquisa e seleção dos dispositivos hidráulicos e economizadores; elaboração do algoritmo de otimização.

2.1 Apartamento tipo

A etapa inicial deste trabalho foi voltada para a simulação de um ambiente residencial onde a situação do uso dos dispositivos economizadores pudesse ser feita. Para isso foi elaborado um pavimento tipo genérico de um edifício, com este sendo composto por 1 apartamento do padrão médio e 1 apartamento de padrão alto. O padrão de cada apartamento determina algumas peculiaridades características que podem ser observadas no mercado atual, como o adicional de um banheiro (suíte). Todas as características de cada apartamento buscaram simular da maneira mais fiel possível os padrões do mercado da construção civil atual. A Tabela 1 mostra os pontos hidráulicos presentes em seus respectivos cômodos nos dois padrões de apartamentos.

Tabela 1. Pontos hidráulicos dos apartamentos.

APTO PADRAO MEDIO		APTO PADRAO LUXO	
COMODO	PONTO HIDRAULICO	COMODO	PONTO HIDRAULICO
SUITE 1	LAVATORIO	SUITE 1	LAVATORIO
	CHUVEIRO		CHUVEIRO
	VASO SANITÁRIO		VASO SANITÁRIO
SUITE 2	LAVATORIO	SUITE 2	LAVATORIO
	CHUVEIRO		CHUVEIRO
	VASO SANITÁRIO		VASO SANITÁRIO
COZINHA	PIA	LAVABO	LAVATORIO
AREA SERVIÇO	MÁQUINA DE LAVAR		VASO SANITARIO
	TORNEIRA DE USO GERAL	COZINHA	PIA
		AREA SERVIÇO	MÁQUINA DE LAVAR
			TORNEIRA DE USO GERAL

Fonte: Autores.

Cada ponto hidráulico foi considerado como um “local” onde a ação de se colocar os dispositivos economizadores ou se alterar o equipamento, como é caso da máquina de lavar e do chuveiro, foi tomada para gerar as diversas combinações propostas pelo trabalho. Um cenário sem dispositivos economizadores nos pontos hidráulicos foi considerado para uma futura comparação, o qual será chamado de cenário padrão.

2.2 Dispositivos hidráulicos

Inicialmente foi feita uma pesquisa de preço e características dos pontos hidráulicos base para implantação dos dispositivos economizadores de acordo com o padrão de apartamento que ele fosse usado, exceto o chuveiro e máquina de lavar. Após, realizou-se a seleção dos dispositivos economizadores que poderiam ser usados nesses pontos hidráulicos, buscando características técnicas, como vazão, adaptabilidade e preço.

Na Tabela 2 são mostradas as características de cada ponto hidráulico, mostrando, para um dispositivo padrão, sua respectiva vazão e custo de aquisição de acordo com o padrão de apartamento. Os custos foram adquiridos de acordo com o Sistema Nacional de Índices e Preços para a Construção Civil (Caixa Econômica Federal, 2019), e as informações técnicas de vazão média foram fornecidas pelo manual técnico da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2019). A vazão foi considerada em uma faixa de pressão estática genérica entre 15 e 20 m.c.a., típicas de um prédio residencial.

Tabela 2. Propriedades de cada ponto hidráulico.

Ponto Hidráulico	Padrão Médio		Padrão Alto	
	Vazão	Valor Médio	Vazão (L/s)	Valor Médio
Lavatório	0,42 L/s	R\$ 35,95	0,42 L/s	R\$ 118,22
Vaso Sanitário	12 L/uso	R\$ 117,13	12 L/uso	R\$ 156,76
Pia cozinha	0,42 L/s	R\$ 29,97	0,42 L/s	R\$ 65,11
Tanque	0,42 L/s	R\$ 11,97	0,42 L/s	R\$ 26,26
Torneira de Uso Geral	0,42 L/s	R\$ 29,85	0,42 L/s	R\$ 29,85

Fonte: Autores.

Como o chuveiro e a máquina de lavar não oferecem a possibilidade de se adaptar dispositivos economizadores para regulagem de vazão, foi feita uma pesquisa de mercado e foram selecionados 5 aparelhos para cada tipo, cada um com seu respectivo preço médio de mercado e vazão, apresentadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Propriedades de cinco modelos de máquina de lavar.

Aparelhos	Custo	Vazão específica (L/uso/kg)
Máquina de lavar 1	R\$ 5.399,00	12,70
Máquina de lavar 2	R\$ 2.564,05	10,50
Máquina de lavar 3	R\$ 2.225,30	8,20
Máquina de lavar 4	R\$ 2.036,00	6,50
Máquina de lavar 5	R\$ 1.789,00	5,20

Fonte: Autores.

Tabela 4. Propriedades de cinco modelos de chuveiros.

Aparelhos	Custo	Vazão (L/min)
Chuveiro 1	R\$ 89,90	5,00
Chuveiro 2	R\$ 112,00	4,50
Chuveiro 3	R\$ 175,08	4,00
Chuveiro 4	R\$ 206,00	3,50
Chuveiro 5	R\$ 279,00	3,00

Fonte: Autores.

Os dispositivos economizadores que atuarão em cada ponto hidráulico do apartamento tiveram seus dados técnicos e de preço coletados através do catálogo de fabricantes e pesquisa de mercado. Os mais populares disponíveis no mercado atualmente para torneiras são os arejadores e os restritores de pressão, sendo os primeiros acoplados aos bicos dos dispositivos hidráulicos e misturam bolhas de ar a água, aumentam a sensação de volume de água e reduzindo seu consumo. Já os segundos

restringem o fluxo de água, diminuindo seu consumo de uma forma direta. Para o vaso sanitário, foi considerada a adoção de um caixa acoplada e uma válvula tipo hidra de acionamento parcial como opções de dispositivos economizadores, também populares no mercado.

A vazão final para cada dispositivo hidráulico após a implantação do dispositivo economizador e o respectivo valor de mercado deste é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5. Propriedades dos dispositivos hidráulicos com o dispositivo economizador.

Dispositivos hidráulicos	Dispositivos economizadores	Vazão sem dispositivo	Vazão com dispositivo	Preço dispositivo economizador
Lavatório, Pia cozinha; Tanque; Torneira de Uso Geral	Restritores de Vazão 8 L/min	0,42 L/s	0,13 L/s	R\$ 24,21
	Restritores de Vazão 9 L/min	0,42 L/s	0,15 L/s	R\$ 22,14
	Restritores de Vazão 10L/min	0,42 L/s	0,17 L/s	R\$ 19,56
	Restritores de Vazão 12L/min	0,42 L/s	0,20 L/s	R\$ 18,98
	Restritores de Vazão 14L/min	0,42 L/s	0,23 L/s	R\$ 17,64
	Restritores de Vazão 16L/min	0,42 L/s	0,27 L/s	R\$ 15,40
	Arejador 1,8 L/min	0,42 L/s	0,03 L/s	R\$ 24,50
	Arejador 3,6 L/min	0,42 L/s	0,06 L/s	R\$ 13,55
	Arejador 4,5 L/min	0,42 L/s	0,08 L/s	R\$ 10,26
	Arejador 6 L/min	0,42 L/s	0,10 L/s	R\$ 8,28
	Arejador 8 L/min	0,42 L/s	0,13 L/s	R\$ 6,49
Vaso Sanitário	Uso de Caixa acoplada VDR	0,42 L/s	6 L/uso	R\$ 195,17
	Hidra com acionamento parcial	0,42 L/s	3 L/uso	R\$ 287,99

Fonte: Autores.

Para questões de otimização de cálculos, foi considerado que todos os dispositivos economizadores citados podem ser utilizados nos seus respectivos dispositivos hidráulicos anteriormente apresentados, desconsiderando possíveis incompatibilidades.

2.3 Elaboração do algoritmo de otimização

A primeira ação tomada na criação do algoritmo foi a definição da linguagem de programação utilizada para seu desenvolvimento. Escolheu-se a linguagem Python, cujo uso no desenvolvimento de técnicas de otimização é facilitado pela farta disponibilidade de bibliotecas disponíveis gratuitamente para este fim. (Lee & Kim, 2015).

2.4 Criação do Indivíduo

O algoritmo genético irá buscar encontrar qual a melhor opção de configuração de cada ponto hidráulico do pavimento tipo de modo que a configuração geral do pavimento seja que minimize custo do consumo de água e custo de aquisição. Para isso gera-se uma proposta de solução, chamada neste caso de indivíduo. Um indivíduo será um cenário aleatório do apartamento, que por si é uma configuração aleatória de todos os pontos hidráulicos deste, sendo que o custo pode ser considerado como o valor de aquisição do dispositivo hidráulico mais o valor de aquisição do seu respectivo dispositivo economizador.

Como os dados técnicos fornecidos dos dispositivos são de vazão, tornou-se necessário definir um intervalo de tempo para sua conversão em consumo, definido em um mês. De acordo com Botelho e Ribeiro Jr. (2006) um apartamento de padrão de luxo consome aproximadamente 300 L/dia por pessoa, enquanto um apartamento de padrão médio consome 250 L/dia por pessoa. Além disso, segundo instruções técnicas do mesmo autor, foi considerado que o apartamento padrão luxo é ocupado por 6 pessoas e o padrão médio por 5 pessoas, definindo o consumo médio de cada ponto hidráulico nos dois tipos de apartamento. Os dados são disponibilizados na Tabela 6.

Tabela 6. Consumo médio de cada ponto hidráulico.

DISPOSITIVO	LOCAL	PADRÃO APTO	MÉDIA USO (%)	CONSUMO MÉDIO (L/DIA)
LAVATORIO	BANH 1	MEDIO	5,21%	65,14
BACIA SANITARIA	BANH 1	MEDIO	8,83%	110,35
CHUVEIRO	BANH 1	MEDIO	17,70%	221,25
LAVATORIO	BANH 2	MEDIO	5,21%	65,14
BACIA SANITARIA	BANH 2	MEDIO	8,83%	110,35
CHUVEIRO	BANH 2	MEDIO	17,70%	221,25
PIA	COZINHA	MEDIO	17,04%	212,97
TANQUE	AREA SERVICO	MEDIO	6,31%	78,93
MÁQUINA DE LAVAR	AREA SERVICO	MEDIO	11,77%	147,08
TORNEIRA USO GERAL	AREA SERVICO	MEDIO	3,83%	47,92
LAVATORIO	BANH 1	ALTO	3,47%	62,53
BACIA SANITARIA	BANH 1	ALTO	5,89%	105,93
CHUVEIRO	BANH 1	ALTO	17,70%	318,60
LAVATORIO	BANH 2	ALTO	3,47%	62,53
BACIA SANITARIA	BANH 2	ALTO	5,89%	105,93
CHUVEIRO	BANH 2	ALTO	17,70%	318,60
LAVATORIO	LAVABO	ALTO	3,47%	62,53
BACIA SANITARIA	LAVABO	ALTO	5,89%	105,93
PIA	COZINHA	ALTO	17,04%	306,68
LAVADORA DE PRATOS	COZINHA	ALTO	2,53%	45,45
TANQUE	AREA SERVICO	ALTO	6,31%	113,66
MÁQUINA DE LAVAR	AREA SERVICO	ALTO	11,77%	211,80
TORNEIRA USO GERAL	AREA SERVICO	ALTO	3,83%	69,00

Fonte: Autores.

Com o consumo de cada ponto é possível, através do valor da taxa de água obtido pela fornecedora de água local (COPASA, 2019) para a cidade de Itajubá, ter um valor total em reais do consumo de água.

Esses dados são inseridos no programa em forma de lista e fornecem todos os cenários que um ponto hidráulico pode ter. No algoritmo será feita uma seleção aleatória para todos os pontos hidráulicos do pavimento e o indivíduo resultante será a soma de todos os indivíduos destes pontos, ou seja, uma configuração geral do pavimento.

2.5 Definição da função de avaliação

No caso deste trabalho, a otimização busca minimizar duas características do indivíduo: o custo de aquisição e o custo relacionado ao consumo. Por uma questão que será explicada na próxima seção (2.3.3) a avaliação de cada indivíduo deve sempre em um algoritmo genético maximizar a característica desejada da otimização (Coley, 1999). Assim, a avaliação atribuída ao indivíduo ficou definida de acordo com equação 1:

$$K = \left(\frac{1}{A}\right) + \left(\frac{1}{C}\right) \quad (1)$$

Onde:

- K = avaliação do indivíduo
- A = Custo de aquisição
- C = Custo de consumo

Definido desta forma, os indivíduos com os menores custos serão os mais bem avaliadas para as futuras operações do algoritmo.

2.6 Definição dos parâmetros de entrada

A partir do momento que a população é gerada e as gerações seguintes também, é necessário fornecer informações de entrada para o algoritmo do número desejado destes elementos. Tomando como base algoritmos genéticos de otimização como de Linden (2008) e Lee (2005) foram adotados os seguintes parâmetros:

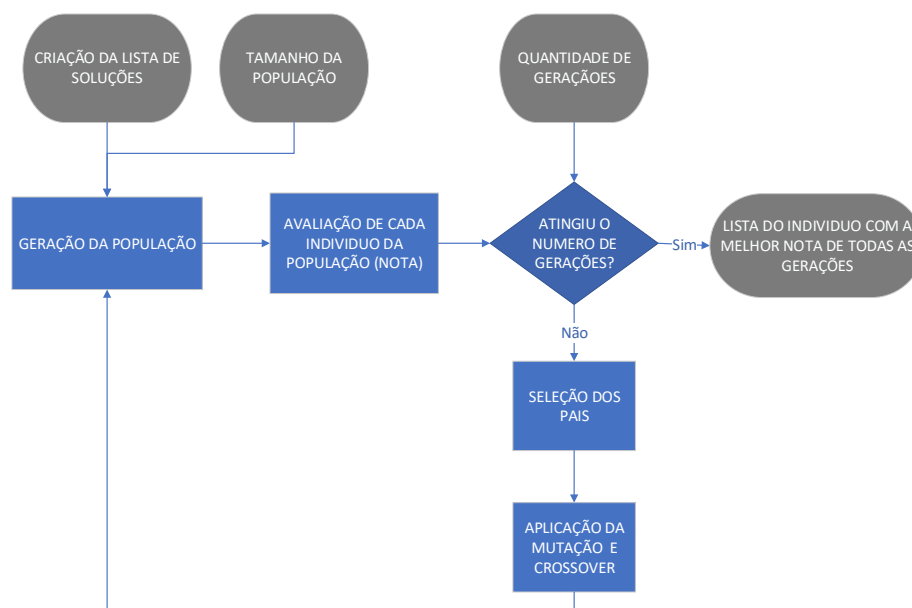
- Tamanho de uma população de indivíduos: 100
- Número de gerações: 10000
- Taxa de mutação: 5%

A taxa de mutação é um parâmetro de entrada aplicada nos “pais” de cada população. Essa taxa de mutação corresponde em um número de 0 a 1 onde, quanto maior ele for, maior será possibilidade de uma mutação genética no indivíduo filho acontecer.

2.7 Processamento do algoritmo

Após ter seu corpo e seus entradas definidas, o processamento do algoritmo é demonstrado no fluxograma da Figura 1.

Figura 1. Fluxograma de processamento do algoritmo.



Fonte: Autores.

Para análise dos resultados obtidos pelo algoritmo será feita uma análise de payback definida pela equação 2:

$$pb = I/F \quad (2)$$

Onde:

- Pb = *payback* (meses);
- I = investimento inicial (R\$);
- F = Fluxo mensal de custo (R\$).

3. Resultados e Discussão

Com o algoritmo completo e todos dados de entrada fornecidos, foi feito o seu processamento. Como o algoritmo gera soluções randômicas em cada processamento, o foram feitos 5 processamentos e os resultados são apresentados na Tabela 7 e na Figura 2.

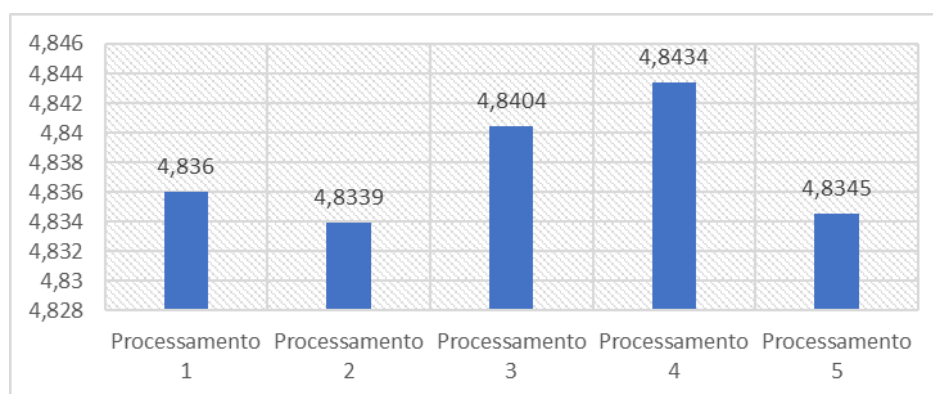
Tabela 7. Resultado dos 5 processamentos.

	Processamento 1	Processamento 2	Processamento 3	Processamento 4	Processamento 5
Melhor solução na geração:	1146	5478	234	3901	5539
Avaliação do melhor indivíduo:	4,836	4,8339	4,8404	4,8434	4,8345
Custo do consumo total da melhor solução (mês)	R\$ 614,37	R\$ 631,63	R\$ 581,81	R\$ 641,24	R\$ 636,21
Custo total de aquisição da melhor solução	R\$ 7.472,26	R\$ 7.441,34	R\$ 7.320,36	R\$ 7.109,16	R\$ 7.410,42

Fonte: Autores.

De acordo com os resultados, pôde-se perceber que quando o algoritmo chega em gerações mais avançadas os resultados estabilizam pois, muito provavelmente, um máximo global foi alcançado. A partir desse ponto percebe-se que o aumento de gerações não tem mais efeito. Também é constatado que, apesar de terem avaliações muito próximas, todos os processamentos tiveram resultados diferentes entre si em relação ao valor de consumo e o valor de aquisição. Uma comparação com as avaliações de cada processamento é apresentada pela Figura 3.

Figura 3. Comparação entre as avaliações de cada processamento.

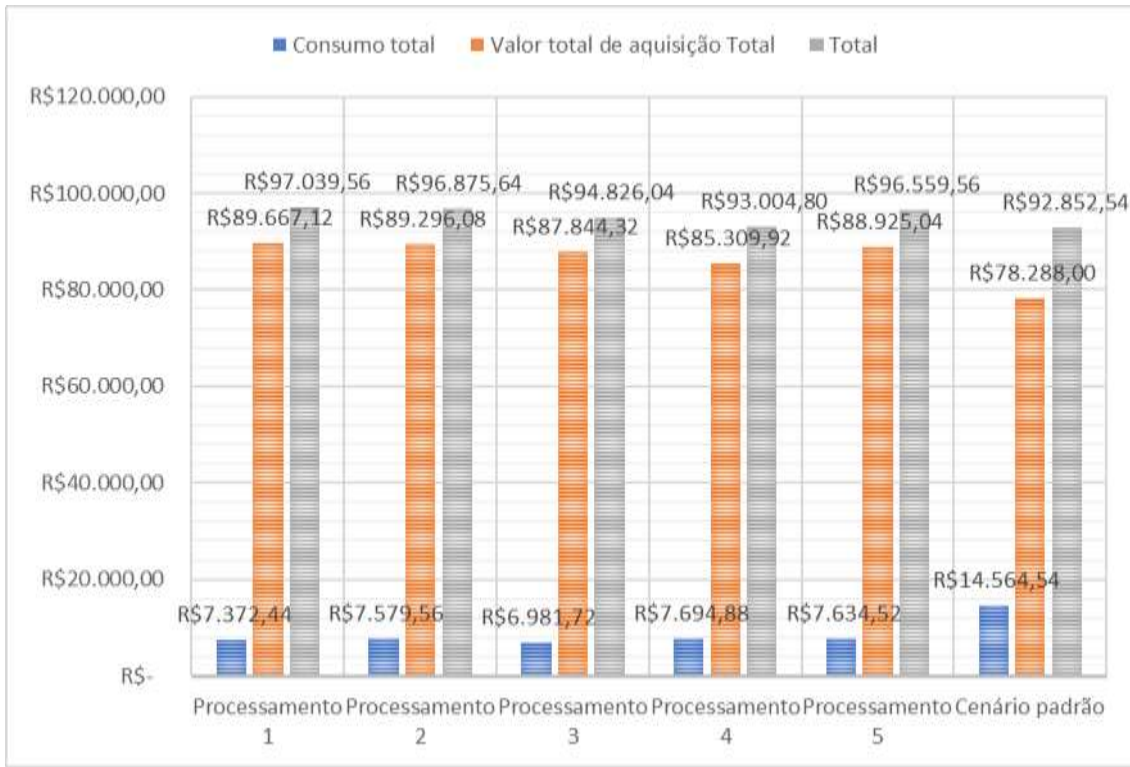


Fonte: Autores (2019).

Percebe-se pelo gráfico da Figura 3 que o processamento 4 foi o que atingiu uma maior economia, assim, em uma situação hipotética onde o apartamento em análise compõe o pavimento tipo de um edifício residencial de 12 andares, segue uma comparação pela Figura 4 que demonstram a diferença do custo de consumo e de aquisição para os 5 processamentos com

um cenário padrão.

Figura 4. Comparação entre os processamentos e o cenário padrão.



Fonte: Autores.

Percebe-se que o cenário padrão é o que tem inicialmente um valor total mais baixo de todos da comparação. Isso porque o custo de aquisição dos dispositivos hidráulicos é mais baixo, apesar destes terem um consumo mensal de água bem maior que os demais.

O cenário muda quando analisamos o payback de cada processamento, considerando o fato que o algoritmo foi processado considerando apenas o valor de um mês consumo de água. Ao se fazer essa análise obtém-se os resultados mostrados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8. Payback dos custos totais de cada processamento.

	Processamento 1	Processamento 2	Processamento 3	Processamento 4	Processamento 5
Mês 0	-R\$ 11.379,12	-R\$ 11.008,08	-R\$ 9.556,32	-R\$ 7.021,92	-R\$ 10.637,04
Mês 1	-R\$ 4.187,02	-R\$ 4.023,10	-R\$ 1.973,50	-R\$ 152,26	-R\$ 3.707,02
Mês 2	R\$ 3.005,08	R\$ 3.169,00	R\$ 5.218,60	R\$ 7.039,84	R\$ 3.485,08

Fonte: Autores.

Tabela 9. Payback de cada cenário.

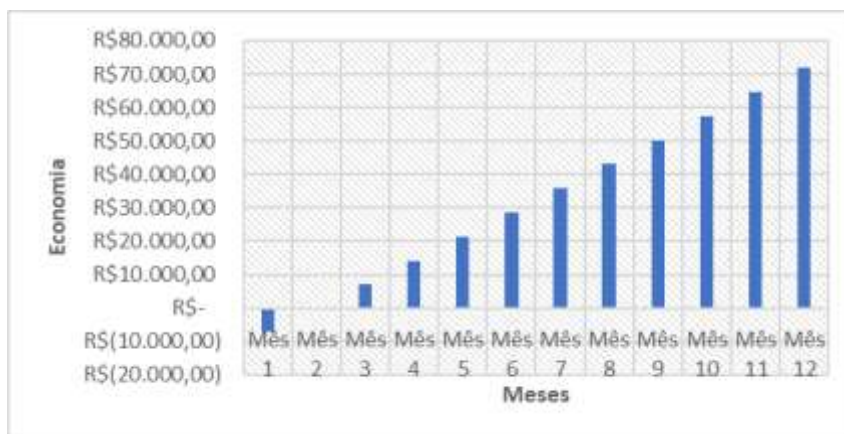
	Investimento Inicial	Fluxo mensal	Payback (mês)
Processamento 1	-R\$ 11.379,12	R\$ 7.192,10	1,582
Processamento 2	-R\$ 11.008,08	R\$ 6.984,98	1,576
Processamento 3	-R\$ 9.556,32	R\$ 7.582,82	1,260
Processamento 4	-R\$ 7.021,92	R\$ 6.869,66	1,022
Processamento 5	-R\$ 10.637,04	R\$ 6.930,02	1,535

Fonte: Autores.

Analisando os dados apresentados nas Tabelas 8 e 9 pode-se notar que o payback ocorre em aproximadamente 2 meses de uso, destacando-se o cenário de dispositivos do processamento 4. Isso ocorre pois os dispositivos economizadores definidos no processamento garantem uma grande economia mensal de consumo.

Considerando os resultados podemos dizer que a configuração de dispositivos hidráulicos alcançada no processamento 4 é o cenário de opções que garante a maior economia com o menor custo considerando as características adotadas. Devido a isso, com o objeto de exemplificação, o gráfico da Figura 5 mostra o retorno financeiro que um edifício residencial de 12 pavimentos poderia ter em 1 ano caso adotando os dispositivos poupadores definidos no processamento 4.

Figura 5. Balanço mensal de um edifício residencial de 12 andares com os dispositivos adotados do processamento 4.



Fonte: Autores.

4. Conclusão

Pode-se concluir que o algoritmo gerado conseguiu processar o grande número de combinações possíveis para os cenários propostos, fornecendo soluções que minimizam o custo de consumo de água e custo de investimento inicial em uma possível aplicação de dispositivos economizadores. O resultado demonstrou que a metodologia de cálculo funcionou para um ambiente residencial simulado e pode, com os devidos ajustes, ter sua aplicabilidade extrapolada para outras aplicações similares.

O algoritmo usado em uma tomada de decisão na aquisição de dispositivos hidráulicos residenciais, servindo como uma importante ferramenta de tomada de decisão. Setores da construção civil que trabalham com prédios residenciais de vários andares podem usar o algoritmo para otimizar as instalações hidráulicas do seu projeto e assim conseguir economias consideráveis, tanto em consumo de água como no custo de implantação dos dispositivos economizadores de água durante a construção.

Sugere-se para estudos futuros a aplicação do algoritmo em outras configurações de imóveis, tais como casas de portes e padrões variados desde habitações populares a residências de alto padrão, bem como a possibilidade de adaptação do algoritmo para uso em edificações comerciais, prédios públicos e demais instalações de modo a permitir a possibilidade de projetos que visem a economia de água aliada a baixos custos de construção, permitindo sua viabilidade.

Referências

- Alexandre, A. C. et al. (2017). Avaliação do impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores no consumo de água. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(5), 1005–1015. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016130494>
- Ali, M. et al. (2020). Water Usage Patterns and Water Saving Devices in Households: A Case of Eastleigh, Nairobi. *Journal of Water Resource and Protection*, 12(04), 303–315. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.124018>
- ANA. (2021). Conjuntura dos recursos hídricos no brasil: 2019. <http://conjuntura.ana.gov.br/>
- Botelho, M. H. C., & Ribeiro Jr., G. A. (2006). Instalações Hidráulicas Prediais: usando tubos de PVC e PPR. Edgard Blucher.
- Byrne, J. et al. (2020). WGV: Quantifying mainswater savings in a medium density infill residential development. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su12166483>
- Caixa Econômica Federal. (2019). Sistema Nacional de Índices e Preços para Construção Civil - SINAPI. <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>
- Coley, D. A. (1999). An Introduction to genetic Algorithms for Scientists and Engineers. World Scientific.
- Companhia de Saneamento Basico do Estado de São Paulo. (2019). Manual técnico – Equipamentos economizadores. R <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=145>
- COPASA. (2019). Tabela de Tarifas - 2019. <https://www.copasa.com.br>
- Dias, T. F. et al. (2018). Factors influencing water consumption in buildings in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 184, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.093>
- Hervás-Gómez, C., & Delgado-Ramos, F. (2019). Drought management planning policy: From Europe to Spain. *Sustainability (Switzerland)*, 11(7), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su11071862>
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade E Tecnologia. (2019). Tabelas de consumo/eficiência energética. <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp?iacao=imprimir>
- Jaime Torres, M. M., & Carlsson, F. (2018). Direct and spillover effects of a social information campaign on residential water-savings. *Journal of Environmental Economics and Management*, 92, 222–243. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.08.005>
- Lee, W. & Kim H. Y. (2005). Genetic algorithm implementation in Python. Fourth Annual ACIS International Conference on Computer and Information Science, 4, 5. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2005.69>
- Linden, R. (2008). *Algoritmos Genéticos*. (2a ed.), Brasport.
- Manouseli, D. et al. (2019). Evaluating the Effectiveness of Residential Water Efficiency Initiatives in England: Influencing Factors and Policy Implications. *Water Resources Management*, 33(7), 2219–2238. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2176-1>
- Marinoski, A. K. et al. (2018). Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. *Journal of Environmental Management*, 206, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.004>
- Mitchell, M. (1999). *An introduction to genetic algorithms*. MIT Press.
- Morote, Á.-F. et al. (2019). Water Management in Urban Sprawl Typologies in the City of Alicante (Southern Spain): New Trends and Perception after the Economic Crisis? *Urban Science*, 3(1), 7. <https://doi.org/10.3390/urbansci3010007>
- Nawaz, R. et al. (2019). Long-Term Projections of Domestic Water Demand: A Case Study of London and the Thames Valley. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(11), 1–17. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001088](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001088)
- Sousa, V. et al. (2019). Performance of water efficiency measures in commercial buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 143(10), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.013>
- Stavnhagen, M. et al. (2018). Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. *Cities*, 79(12), 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.03.008>
- Tam, V. W. Y. et al. (2019). Life-cycle analysis by using the alternative sustainable water innovations in residential dwellings. *International Journal of Construction Management*, 0(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1603564>
- Tirado, D. et al. (2019). Implementation of water-saving measures in hotels in Mallorca. *Sustainability (Switzerland)*, 11(23), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su11236880>

- Torres-Bagur, M. et al. (2019). Incentives and barriers to water-saving measures in hotels in the Mediterranean: A case study of the Muga river basin (Girona, Spain). *Sustainability (Switzerland)*, 11(13), 16. <https://doi.org/10.3390/su11133583>
- Vieira, P. et al. (2017). Assessment of household water use efficiency using performance indices. *Resources, Conservation and Recycling*, 116, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.007>
- Wang, C. H., & Dong, H. (2017). Responding to the drought: A spatial statistical approach to investigating residential water consumption in Fresno, California. *Sustainability (Switzerland)*, 9(2), 15. <https://doi.org/10.3390/su9020240>
- Willis, R. M. et al. (2013). End use water consumption in households: Impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production*, 60, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.006>