



**CÓDIGO: 9655 HIERARQUIZAÇÃO DE AÇÕES DE EFICIÊNCIA
HIDROENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO**

Liliane Klemann Raminelli⁽¹⁾

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheira de Segurança do Trabalho pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Daniel Costa dos Santos⁽²⁾

Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pós-doutor em Saneamento pelo Instituto UNESCO de Educação Hídrica. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Engenharia Civil – Infraestrutura Sanitária e de Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Engenheiro Civil pela Universidade de Santa Maria (UFSM).

Endereço⁽¹⁾: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas - Curitiba - Paraná - CEP: 81530-000 - Brasil - Tel: +55 (41) 3361-3210 - Fax: +55 (41) 3361-3143 - e-mail: liliane_kl@hotmail.com.

RESUMO

O consumo de energia e os altos índices de perdas de água em sistemas de abastecimento de água (SAA) demonstram a falta de planejamento e gerenciamento ocorrida nesses sistemas. Assim, é necessário a implantação de ações para melhorar a eficiência hidroenergética desses sistemas. A maior dificuldade, porém, é a escolha dessas ações e quais critérios analisar. O objetivo desse trabalho é, portanto, desenvolver uma ferramenta que hierarquize as ações de eficiência hidroenergética em um SAA baseado no Método da Análise Hierárquica (AHP). Para isso, foi realizado um estudo de caso em um SAA que fica entre Curitiba/PR e Pinhais/PR e é administrado pela SANEPAR. Foram propostas três ações de eficiência hidroenergética: correção de vazamentos, uso racional da água e substituição da tubulação. As ações foram avaliadas segundo quatro critérios, Cobertura Populacional, Vazão Bombeada, Consumo de Energia e Custo. Após, foram executadas simulações no AHP, variando o peso dos critérios, resultando na hierarquização das ações. Como resultado observou-se que há sempre uma tendência na hierarquização das ações aplicadas. Com isso, foi possível apontar em ordem de prioridade quais ações de eficiência hidroenergética seriam mais eficazes para o setor em estudo quando há variação no peso dos critérios.

PALAVRAS-CHAVE: ações de eficiência hidroenergética, hierarquização, critérios

INTRODUÇÃO

Água e energia são elementos essenciais às nossas vidas, além de estarem intimamente conectados. É estimado que aproximadamente 2 a 3% de toda eletricidade consumida no mundo é usada em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) (ALLIANCE TO SAVE ENERGY, 2002). No Brasil a situação não é diferente, em torno de 2,3% da energia é consumida pelos SAAs, sendo 90% dessa energia consumida pelos conjuntos motobombas (GOMES, 2009).

Além desse consumo de energia, boa parte da água que deveria ser entregue ao consumidor final é perdida, principalmente na rede de distribuição. Atualmente, o Brasil tem um índice médio de perdas de água de 37% (BRASIL, 2016).

Todos esses dados demonstram a necessidade de melhorar a eficiência hidroenergética dos SAAs para que não haja um colapso no sistema.

Na literatura são encontradas muitas ações que podem ser executadas nos SAAs para melhorar essa eficiência, desde ações simples, como o monitoramento de vazamentos, até ações mais complexas, como a otimização dos sistemas de bombeamento e/ou dos reservatórios.

Apesar do grande leque de opções existentes, o principal desafio é definir qual seria a ordem de prioridade dessas ações ou, ainda, qual ação deveria ser executada primeiro a fim de um melhor resultado em um tempo menor. Essa dificuldade ocorre devido à complexidade dos SAAs e também devido à grande variedade de



critérios que podem ser utilizados para definir a ordem de prioridade das ações. Para uma análise mais completa devem ser utilizados critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais em conjunto permitindo, assim, uma análise sistêmica das ações a serem tomadas.

OBJETIVO

É nesse contexto, então, que surge a oportunidade desse trabalho, apresentar um processo de hierarquização de ações no intuito de obter as melhores ações para a promoção da eficiência hidroenergética para um SAA. Nesse sentido foi desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão baseada no Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process – AHP*).

METODOLOGIA

A primeira etapa é definir o SAA a ser estudado e, posteriormente, obter todas as informações e características específicas desse SAA. Em um segundo momento, devem-se definir quais ações de eficiência hidroenergética serão possíveis de serem aplicadas nesse SAA e quais critérios serão avaliados com a aplicação dessas ações. Após essa definição, as ações de eficiência hidroenergética são simuladas, podendo ser utilizado algum simulador hidráulico, como o EPANET ou o Watercad, por exemplo, a fim de obter os resultados dessas ações em relação aos critérios escolhidos.

Depois de concebidas todas as ações e os resultados dessas em relação aos critérios definidos, é utilizado o AHP. O AHP foi escolhido por se tratar de uma ferramenta em que é possível fazer uma grande quantidade de julgamentos em problemas com muitos critérios e alternativas e também pelo fato de ser um dos métodos mais utilizados e difundidos no mercado mundial, possuindo alto número de publicações científicas (ALVES, L.G.K. et al., 2007). No AHP, primeiramente, o problema é decomposto em uma hierarquia de objetivo, critérios, subcritérios e alternativas. Após a estruturação do problema, é feito um julgamento em relação à importância dos critérios escolhidos. Esse julgamento pode ser feito por peritos ou tomadores de decisão que podem classificar as comparações entre dois critérios como igual, levemente forte, forte, muito forte e extremamente forte. Essas comparações são feitas para cada critério e convertidas em números como é apresentado na Tabela que segue.

Tabela 1: Escala de julgamentos de importância do Método AHP. Fonte: Saaty, 1980.

Intensidade de importância	Definição	Significado
1	Importância igual	Dois critérios/alternativas contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância levemente forte sobre a outra	A contribuição de um dos critérios/alternativas é levemente superior à do outro
5	Importância forte	Um critério/alternativa é fortemente favorecido em comparação com outro
7	Importância muito forte	Um critério/alternativa é favorecido muito fortemente sobre o outro
9	Importância extremamente forte	A importância/preferência de um critério/alternativa domina em absoluto o outro
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos	Valores utilizados quando o julgamento está entre dois valores ímpares

Nesse trabalho, foram variados os pesos dos critérios escolhidos e o AHP foi simulado para cada uma das variações de peso realizada.

Para a realização desse trabalho, portanto, foi feito um estudo de caso no sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville, que fica localizado nos municípios de Curitiba/PR e Pinhais/PR, administrado pela Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná). Esse sistema foi escolhido por possuir muitos dados e também por possuir várias configurações em único sistema, como reservatório apoiado, reservatório elevado e booster.

Após a definição do estudo de caso foram simuladas algumas ações de eficiência hidroenergética, dentre elas: detecção de vazamentos, uso racional da água e substituição da tubulação por tubos novos.

Foram também definidos quatro critérios a fim de verificar quais seriam os resultados das simulações em relação a esses critérios. Os critérios escolhidos são: cobertura populacional, vazão bombeada, consumo de energia e custo. Foram escolhidos esses critérios pelo fato de abordarem a questão social (cobertura



populacional), a questão ambiental (vazão bombeada e consumo de energia) e a questão econômica (custo) conjuntamente.

Tendo sido feitas as simulações das ações de eficiência hidroenergética e obtidos os respectivos resultados dos critérios dessas, foi possível utilizar o método de sistema de apoio à decisão, AHP, para, enfim, hierarquizar essas ações de acordo com o peso dados aos critérios. Por fim, então, foram feitas quatro simulações pelo AHP, sendo a primeira delas tendo sido dado maior peso para o critério Cobertura Populacional, na segunda simulação foi dado maior peso ao critério Vazão Bombeada, na terceira o critério Consumo de Energia recebeu maior peso e, por último, foi priorizado o critério Custo. Assim, foram obtidas quatro hierarquizações diferentes devido à variação de peso dos quatro critérios escolhidos. Sendo possível, com isso, observar se houve alguma diferença na hierarquização quando são dados pesos diferentes aos critérios definidos.

ESTUDO DE CASO

- DESCRIÇÃO DA ÁREA

O sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville tem início na bacia hidrográfica do Altíssimo Iguaçu, onde a Sanepar construiu três barragens para regularização da vazão. A barragem do Rio Iraí tem capacidade de armazenamento de 58 hm³. No Rio Piraquara, estão as outras duas, sendo a primeira denominada Piraquara I, com capacidade de 22,5 hm³ e a segunda, a Piraquara II, com capacidade de 20,5 hm³ (SANEPAR, 2013).

Essas três barragens contribuem para regularizar a vazão do Rio Iraí que recebe, ainda, a contribuição das bacias incrementais dos rios Iraizinho, do Meio e à jusante, do Itaqui (SANEPAR, 2013). Esses mananciais abastecem as ETAs Iraí e Iguaçu.

No Sistema Iraí a água é vertida por um canal com cuja extremidade de jusante estão instaladas a Estação Elevatória de Água Bruta e Estação de Tratamento de Água. O processo de tratamento é do tipo completo com floculação, flotação, filtração, fluoretação e desinfecção. A capacidade de produção atual varia entre 2900 a 3000 l/s (SANEPAR, 2013).

Após o tratamento, a água tratada é encaminhada aos centros de reservação Piraquara, Vila Amélia, Jacob Macanhann e Tarumã (SANEPAR, 2013).

Porém, nesse estudo de caso será dada atenção somente à parte da água que é encaminhada ao centro de reservação Vila Amélia e, posteriormente, segue para abastecer o bairro Alphaville. Na Figura 1 que segue é apresentado um croqui esquemático desse sistema.

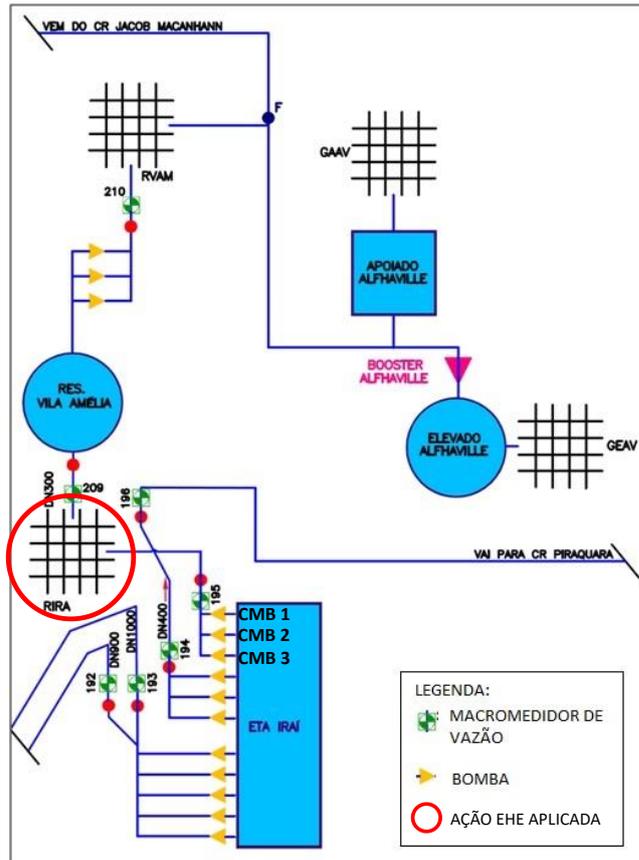


Figura 1: Croqui esquemático do Sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville. Fonte: SANEPAR, 2014.

A Figura 1 mostra que o sistema tem início com a captação de água no rio Iraí e entrada dessa água na ETA Iraí. A partir da ETA, a água é distribuída para vários centros de reservação. No sistema em estudo, a água é recalçada por um sistema elevatório composto de 3 conjuntos motobombas, representadas na Figura 1 por CMB 1, CMB 2 e CMB 3, que atuam em paralelo, com inversor de frequência. Esse sistema elevatório recalca a água e faz sua distribuição em marcha na rede de distribuição do setor RIRA (Recalque Iraí), o qual possui um reservatório de ponta situado na Vila Amélia denominado CR (Centro de Reservação) Vila Amélia. Depois que a água sai do CR Vila Amélia, ela é recalçada novamente, por 3 conjuntos motobombas em paralelo sem inversor de frequência, e distribuída em marcha para o setor RVAM (Recalque Vila Amélia). Após a distribuição nesse setor, uma parte dessa água segue para o RAP (Reservatório Apoiado) Alphaville, sendo distribuída por gravidade para o setor GAAV (Gravidade Apoiado Alphaville). E outra parte segue para o Booster Alphaville até o REL (Reservatório Elevado) Alphaville e, por fim, distribuída por gravidade para o setor GEAV (Gravidade Elevado Alphaville). Na Figura 1, está destacado também o Setor RIRA, pois as ações de eficiência hidroenergética (EHE) serão aplicadas nesse setor nesse trabalho.

O primeiro sistema elevatório, entre a ETA Iraí e o setor RIRA, é composto por 3 conjuntos motobombas em paralelo, cujas características estão descritas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Características do sistema elevatório entre ETA Iraí e Setor RIRA. Fonte: SANEPAR, 2014.

Marca	KSB
Modelo	RDL 150-310A
Altura manométrica (m)	36
Vazão (l/s)	55,4
Motor elétrico	WEG
Potência (CV)	40
Tensão (V)	440
Rotação (rpm)	1770
Quantidade	3 conjuntos
Acionamento	Com inversor de frequência



Como as ações de eficiência hidroenergética serão aplicadas no Setor RIRA e terão consequências diretas no próprio ou no setor seguinte, Setor RVAM, não serão detalhadas as informações técnicas do restante do sistema em estudo.

Para melhor compreensão dos sistema é importante conhecer as cotas topográficas em que se encontram os reservatórios e os volumes desses, que estão apresentadas na Tabela 3 que segue.

Tabela 3: Cotas e volumes dos reservatórios do sistema. Fonte: SANEPAR, 2013.

Unidade	Volume (m ³)	Cota do nível de água máximo (m)	Cota do nível de água mínimo (m)
CR Iraí	15.000	879,9	874,5
CR Vila Amélia	2.000	905	901,1

Na Tabela 4, a seguir, são apresentadas informações a respeito do volume micromedido, volume produzido, perdas de água, número de economias abastecidas, população atendida e o consumo per capita médio da população do sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville no ano de 2016. As perdas de água apresentadas referem-se às perdas totais, isto é, a soma das perdas físicas e das perdas aparentes. Esses dados foram disponibilizados pela SANEPAR no ano de 2017, no mês de Abril, referentes ao período de Janeiro a Dezembro de 2016.

Tabela 4: Panorama do Sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville em 2016. Fonte: Dados fornecidos pela SANEPAR em 2017.

Setor	Volume produzido (m ³ /ano)	Volume micromedido (m ³ /ano)	Média anual de perda de água (%)	Número de economias atendidas (unid.)	População atendida (hab.)	Consumo per capita médio da população (L/hab.d.)
RVAM	767.640	379.310	50,59	3.378	10.810	100,7
RIRA	1.567.431	989.918	36,84	8.298	26.554	104,8

De acordo com a Tabela 4, observa-se que com relação ao volume produzido e micromedido, o recalque Iraí – Vila Amélia (RIRA) é o sistema que mais produz e, conseqüentemente, também o maior volume micromedido, seguido do recalque Vila Amélia (RVAM). Já com relação às perdas de água, o Setor RIRA apresenta 30,84% de índice de perdas e, o Setor RVAM apresenta maior índice de perdas de água, com 50,59%. Além disso, o Setor RIRA abastece maior número de economias (8.298) e, conseqüentemente, maior número de habitantes (126.554 hab.); já, o setor RVAM atende 3.378 economias atendendo a uma população de 10.810 habitantes. Com relação ao consumo per capita médio da população, os dois setores apresentam consumos muito próximos, tendo o Setor RIRA um consumo pouco maior (104,8 L/hab.d.) do que o Setor RVAM (100,7 L/hab.d.).

A seguir na Tabela 5 são descritas as adutoras componentes do sistema, e são apresentados os diâmetros e materiais dessas.

Tabela 5: Características das adutoras do Sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville. Fonte: SANEPAR, 2013.

Trecho	Material	Diâmetro (mm)
Adutora entre ETA Iraí e CR Vila Amélia	Ferro fundido dúctil	400
	PVC Defofo	300

Observa-se na Tabela 5 dada que parte da adutora que liga a ETA Iraí ao CR Vila Amélia é de ferro fundido dúctil, enquanto outra parte dessa adutora é de PVC Defofo. Já com relação aos diâmetros, as adutoras que ligam a ETA Iraí ao CR Vila Amélia são maiores, com 400 mm e 300 mm de diâmetro.

- APRESENTAÇÃO DE CENÁRIO PARA SIMULAÇÃO

Como já descrito anteriormente foram simuladas três ações de eficiência hidroenergética: detecção de vazamentos, uso racional da água e substituição da tubulação por tubos novos no Setor RIRA.

Além disso, constatou-se, com o auxílio de dados da Sanepar, que o dia de maior consumo do sistema foi o dia 13 de dezembro de 2016.



Na Figura 2 que segue é apresentado um croqui com a situação de consumo do sistema no dia 13 de dezembro de 2016.

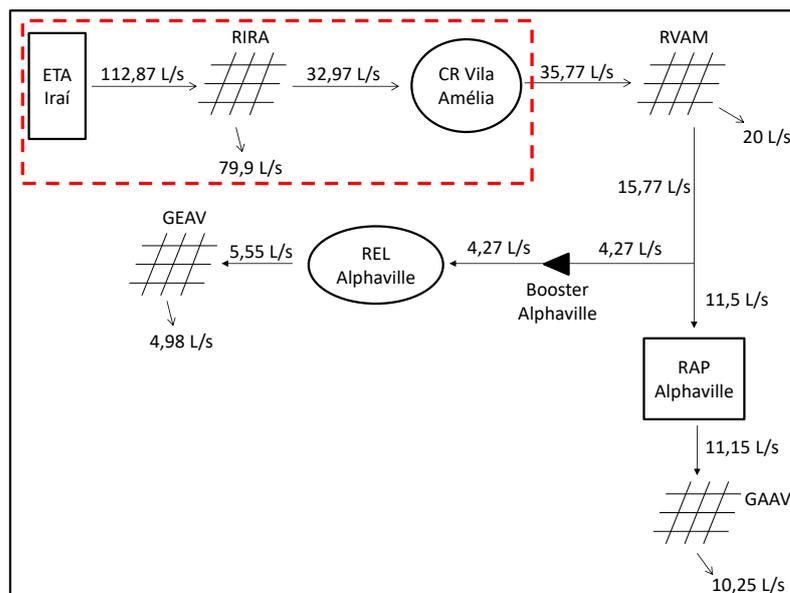


Figura 2: Situação de consumo do Sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville no dia de maior consumo (13/12/2016).

Observa-se na Figura 2 que no dia 13 de dezembro de 2016, a ETA Iraí produz uma vazão de 112,87 L/s que é bombeada até o Setor RIRA, no qual é consumida uma vazão de 79,9 L/s. Posteriormente ao setor RIRA, a água é enviada com uma vazão de 32,97 L/s até o CR Vila Amélia. A partir do CR Vila Amélia, a água é bombeada com uma vazão de 35,77 L/s para o Setor RVAM, sendo consumida nesse setor uma vazão de 20 L/s. Após o consumo no Setor RVAM o fluxo de água é dividido, parte da água, 11,5 L/s é encaminhada ao RAP Alphaville e outra parte, 4,27 L/s encaminhada ao Booster Alphaville e posteriormente ao REL Alphaville. Após a água chegar ao RAP Alphaville, uma vazão de 11,15 L/s segue em direção ao Setor GAAV, no qual 10,25 L/s dessa vazão é consumida. Já, depois da chegada da água no REL Alphaville, 5,55 L/s de vazão flui em direção ao setor GEAV, sendo 4,98 L/s de vazão consumida nesse setor. A área destacada na Figura se refere ao Setor RIRA, no qual serão aplicadas as ações de eficiência hidroenergética e no seu entorno que receberá influência direta da aplicação dessas ações.

- **CONCEPÇÃO DAS AÇÕES**

Para a concepção das ações no Setor RIRA foi utilizado um simulador hidráulico mundialmente difundido, o EPANET Versão 2.0. No EPANET foi inserido todo o Sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville e, posteriormente, foram simuladas as três ações de eficiência energética.

- **CONCEPÇÃO DA AÇÃO 1**

A primeira ação (Ação 1) a ser simulada no Setor RIRA foi a detecção e correção de 50% dos vazamentos nessa rede de distribuição. Com a correção dos vazamentos, fica claro que haverá uma diminuição no consumo de água no Setor RIRA e, conseqüentemente, uma economia de água. Essa água economizada, portanto, poderá ser utilizada de duas formas, aumentando a cobertura populacional no próprio Setor RIRA ou aumentando a cobertura populacional no setor seguinte, Setor RVAM.

Com isso, foram definidos, portanto, dois objetivos para essa ação. O Objetivo 1 tem a finalidade de aumentar a cobertura populacional no Setor RIRA e o Objetivo 2 conta com a finalidade de aumentar a cobertura populacional no Setor RVAM.

Objetivo 1

Quando o objetivo da ação for o aumento de cobertura populacional no Setor RIRA, a vazão bombeada da ETA Iraí e a vazão que abastece o CR Vila Amélia são mantidas fixas e somente é reduzido o consumo



ocorrido no setor. Essa redução permite, então, a possibilidade de aumentar a cobertura populacional no próprio setor.

Na Figura 3 a seguir é apresentado o croqui da situação de consumo no sistema após a aplicação dessa primeira ação com Objetivo 1.

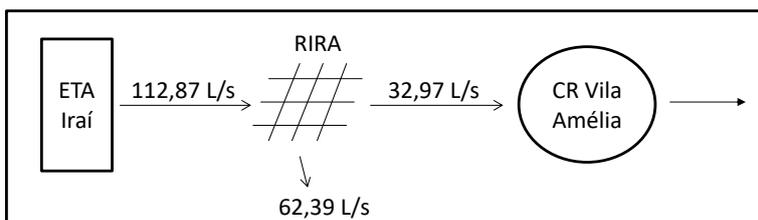


Figura 3: Situação de consumo no sistema após aplicação da Ação 1 com Objetivo 1

Após a simulação da Ação 1, constatou-se que houve uma diminuição do consumo no Setor RIRA para 62,39 L/s. Como o objetivo nesse é de aumentar a cobertura no próprio Setor RIRA, as vazões de bombeamento vindas da ETA Iraí e de abastecimento do CR Vila Amélia são mantidas constantes. Esse resultado era esperado, pois com a correção de 50% dos vazamentos, foi possível diminuir o índice de perdas de água no setor RIRA tendo como consequência direta a diminuição do consumo de água do setor.

Objetivo 2

Nesse objetivo, a economia de água obtida pela correção e detecção dos vazamentos é utilizada para aumentar a cobertura populacional no Setor RVAM. Com isso, devido à aplicação dessa ação há um aumento no fluxo de água que abastece o CR Vila Amélia e que, posteriormente, pode ser usado para aumentar a cobertura populacional no Setor RVAM.

A Figura 4 que segue apresenta como fica a situação de consumo com a aplicação dessa ação com Objetivo 2.

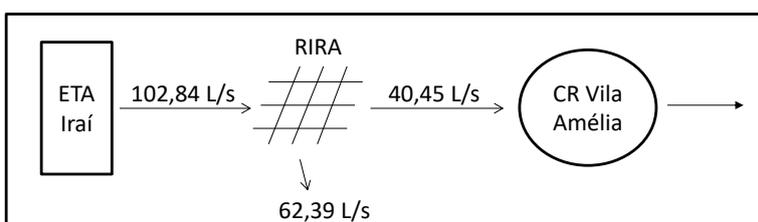


Figura 4: Situação de consumo no sistema após aplicação da Ação 1 com Objetivo 2

Na Figura 4, então, percebe-se que além da redução do consumo no Setor RIRA, houve também uma redução na vazão bombeada proveniente da ETA Iraí para 102,84 L/s e um aumento da vazão que abastece o CR Vila Amélia para 40,45 L/s. É esse aumento de vazão, resultado da ação, que será utilizado para aumentar a cobertura populacional no Setor RVAM, que se localiza após o CR Vila Amélia.

- CONCEPÇÃO DA AÇÃO 2

A segunda ação (Ação 2) simulada foi a ação de uso racional da água no Setor RIRA, na qual a população reduziu o seu consumo per capita efetivo em 15%. Com essa redução no consumo per capita efetivo da população, haverá uma diminuição no consumo de água do Setor RIRA.

Assim, como na Ação 1, com essa diminuição de consumo haverá uma economia de água que poderá ser novamente utilizada com os dois objetivos já citados anteriormente, o Objetivo 1 de aumento da cobertura populacional no Setor RIRA e o Objetivo 2 com a finalidade de aumentar a cobertura populacional no Setor RVAM. A Ação 2, portanto, foi simulada para esses dois objetivos.

Objetivo 1

Na concepção da Ação 2 com Objetivo 1 as vazões bombeadas vindas da ETA Iraí e que abastecem o CR Vila Amélia são fixadas e com a redução de consumo no Setor RIRA, poderá ser aumentada a cobertura populacional nesse próprio setor.

Na Figura 5 a seguir apresenta-se a situação do consumo após aplicação da Ação 2 com Objetivo 1.

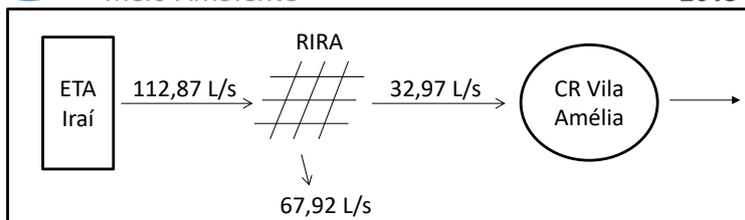


Figura 5: Situação de consumo após aplicação da Ação 2 com Objetivo 1

Como resultado da Ação 2, o consumo do Setor RIRA foi reduzido para 67,92 L/s, resultado já esperado devido à população ter diminuído o seu consumo per capita efetivo. No Objetivo 1, ainda, as vazões bombeadas pela ETA Iraí e que abastecem o CR Vila Amélia se mantêm fixas, iguais às do dia de maior apresentada na Figura. Assim, a economia de água devido à redução do consumo no Setor RIRA é utilizado no próprio setor para aumentar a cobertura populacional deste.

Objetivo 2

Para atender ao Objetivo 2 proposto, a redução do consumo no Setor RIRA provocado pela aplicação da Ação 2 será utilizado para aumentar a cobertura populacional no setor após o CR Vila Amélia, Setor RVAM. Conforme segue, a Figura 6 caracteriza a situação de consumo após aplicação da Ação 2 com Objetivo 2.

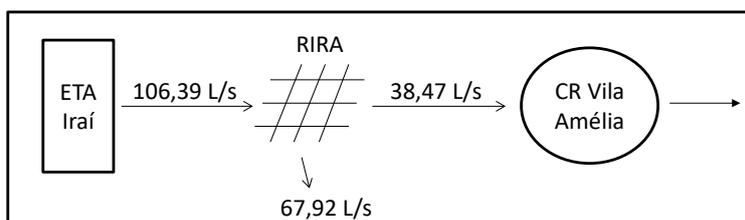


Figura 6: Situação de consumo após aplicação da Ação 2 com Objetivo 2

Como mostra a Figura 6, com a simulação da Ação 2, a vazão consumida no Setor RIRA caiu para 67,92 L/s, havendo novamente uma redução em relação à situação inicial. Já, a vazão bombeada pela ETA Iraí nessa nova situação diminuiu para 106,39 L/s e a vazão de abastecimento do CR Vila Amélia aumentou para 38,47 L/s. Assim, com esse aumento de vazão em direção ao CR Vila Amélia será possível aumentar a cobertura populacional no Setor RVAM.

- CONCEPÇÃO DA AÇÃO 3

Por último, foi simulada a Ação 3, substituição da tubulação antiga existente no trecho entre a ETA Iraí e o CR Vila Amélia por tubulações novas. Sabe-se que tubos antigos têm seus coeficientes de rugosidade de Hazen-Williams diminuídos devido ao uso e, como consequência direta, têm suas eficiências diminuídas transportando menos vazão com o passar do tempo. Com a substituição por tubos novos, o coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams desses tubos é aumentado obtendo, com isso, melhores eficiências no transporte de vazão.

Diferentemente do que ocorre nas Ações 1 e 2, com a substituição das tubulações na Ação 3 há um aumento das vazões transportadas por esses tubos, não afetando diretamente o consumo de água no Setor RIRA, o qual se mantém o mesmo da situação de consumo do dia de maior consumo do sistema. Porém, da mesma maneira que nas Ações 1 e 2, esse aumento no transporte de água pode ser direcionado para os dois objetivos anteriormente citados, Objetivo 1 (aumento da cobertura populacional no Setor RIRA) e Objetivo 2 (aumento da cobertura populacional no Setor RVAM).

Objetivo 1

Com a Ação 3 a água a mais que está agora sendo transportada será totalmente utilizada no Setor RIRA para aumento da sua própria cobertura populacional. A Figura 7 a seguir apresenta a nova situação após aplicação da Ação 3.

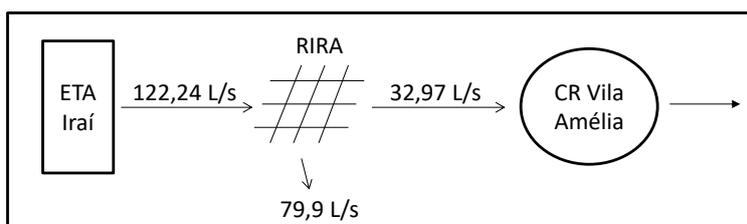


Figura 7: Situação de consumo após Aplicação da Ação 3 com Objetivo 1

A Figura 7 mostra que houve um aumento na vazão bombeada proveniente da ETA Iraí, sendo esse aumento de vazão utilizado para aumentar a cobertura populacional no Setor RIRA. O consumo de água no Setor RIRA e a vazão que abastece o CR Vila Amélia se mantém constantes, iguais à da situação de consumo do dia de maior consumo.

Objetivo 2

No Objetivo 2 a vazão a mais que é transportada será utilizada integralmente para aumentar a cobertura populacional no Setor RVAM. Na Figura 8 que segue é apresentada como fica a situação de consumo após aplicação da Ação 3 com Objetivo 2.



Figura 8: Situação de consumo após aplicação da Ação 3 com Objetivo 2

Como é apresentado na Figura 8, nesse objetivo a vazão bombeada pela ETA Iraí aumenta para 122,24 L/s e segue abastecendo o CR Vila Amélia com 42,34 L/s de vazão, sendo esta utilizada para aumentar a Cobertura Populacional no Setor RVAM. Já, o consumo no Setor RIRA se mantém o mesmo da situação de consumo de água no dia de maior consumo do sistema.

- ESTIMATIVAS PARA AS AÇÕES CONCEBIDAS

Assim, para cada ação e para cada um dos objetivos já apresentados obtiveram-se os seguintes resultados para cada um dos critérios avaliados, apresentados nas Tabela 6 e Tabela 7 a seguir.

Tabela 6: Resultados dos critérios após a simulação das ações no Setor RIRA

Critério	Ação 1.1	Ação 2.1	Ação 3.1
Cobertura Populacional (%)	126,72	117,64	111
Vazão Bombeada (%)	100	100	107,75
Consumo de Energia (%)	100	100	105,15
Custo (R\$)	15.802,74	0	1.500.000,00

Tabela 7: Resultados dos critérios após a simulação das ações no Setor RVAM

Critério	Ação 1.2	Ação 2.2	Ação 3.2
Cobertura Populacional (%)	134,51	124,61	143,96
Vazão Bombeada (%)	90,65	93,78	107,75
Consumo de Energia (%)	93	95,39	105,15
Custo (R\$)	15.802,74	0	1.500.000,00

Os resultados dos critérios Cobertura Populacional, Vazão Bombeada e Consumo de Energia apresentados nas Tabelas acima são apresentados em percentuais sempre se relacionando à situação de consumo apresentada no



dia 13 de dezembro de 2016. Assim, por exemplo, analisando a Tabela 9 e avaliando o resultado da Ação 1.2 em relação ao critério Cobertura Populacional, entende-se que com essa ação a cobertura populacional é aumentada em 34,51% em relação à cobertura populacional na situação do dia de maior consumo. Já, observando o resultado do critério Vazão Bombeada para a mesma ação (Ação 1.2), fica definido que foi consumido apenas 90,65% da vazão bombeada no dia de maior consumo, havendo uma redução na vazão bombeada com a execução dessa ação de 9,35%.

Além disso, para o critério Custo foi feita uma estimativa de custo das três ações, sendo esses valores levantados e apresentados nesse critério. Por essa estimativa de custo, para a Ação 1, de detecção de vazamentos, foi feito um levantamento acerca do custo do equipamento de detecção de vazamentos, do custo da hora técnica da equipe de trabalho e, por último, do custo de substituição da tubulação propriamente, ficando em R\$ 15.802,74. Já, na Ação 2.2, considerou-se custo zero devido ao fato de tratar-se de um conscientização da população em relação ao seu consumo, não tendo sido considerado nenhum gasto com equipamento e/ou equipe técnica. Por fim, na Ação 3, de substituição da tubulação por tubos novos, foi feito um levantamento a respeito da extensão, do diâmetro e do material das adutoras do trecho em questão e, considerou-se, por estimativa, o valor da substituição de toda a extensão dessas adutoras, ficando em um valor de R\$ 1.500.00,00.

Com relação aos resultados do Setor RIRA, portanto, é possível observar na Tabela 6 que a Ação 1.1 é a que tem melhor resultado em relação aos critérios Cobertura Populacional, Vazão Bombeada e Consumo de Energia, apresentando maior cobertura populacional, menor vazão bombeada e menor consumo de energia em relação às outras. Já, a Ação 2.1 é que possui melhor resultado relação ao indicador Custo, possuindo o menor custo entre todas as ações simuladas. Por fim, a Ação 3.1 é a que apresenta o pior resultado em relação a todos os critérios.

Já, no Setor RVAM (Tabela 7), a Ação 3.2 apresenta melhor resultado no critério Cobertura Populacional. A Ação 1.2 apresenta melhores resultados nos critérios Vazão Bombeada e Consumo de Energia. E, a Ação 2.2 mostrou melhor resultado em relação ao critério Custo.

- **HIERARQUIZAÇÃO DAS AÇÕES PELO AHP**

Com os resultados dos critérios de todas as ações é possível, então, utilizar o AHP a fim de hierarquizá-las e por fim, verificar, quais ações são mais interessantes de serem aplicadas tanto no Setor RIRA como no Setor RVAM.

Como o AHP é um sistema de apoio à decisão multicritérios, foi possível utilizá-lo variando os pesos dos quatro critérios a fim de constatar se existiu alguma mudança em relação à hierarquização das ações.

Para cada um dos objetivos foram feitas quatro simulações pelo AHP variando o peso dos critérios em cada uma delas.

Na primeira simulação (Simulação 1) foi dado maior peso ao critério Cobertura Populacional que, de acordo com a Tabela, foi considerada de importância forte (cinco vezes mais importante) que os critérios Vazão Bombeada e Consumo de Energia e de importância levemente forte (três vezes mais importante) que o critério Custo.

Na Simulação 2, o critério Vazão Bombeada foi priorizado em relação aos outros. Esse critério foi julgado com importância muito forte (sete vezes mais importante) quando comparado com os critérios Consumo de Energia e Custo e de importância forte (cinco vezes mais importante) quando comparado com o critério Cobertura Populacional.

Já, na Simulação 3 o critério Consumo de Energia foi considerado o de maior importância. Quando comparado com os critérios Vazão Bombeada e Custo foi considerado de importância forte (cinco vezes mais importante) em relação a esses e, quando comparado com o critério Cobertura Populacional foi considerado de importância levemente forte (três vezes mais importante) em relação a esse.

Por fim, na Simulação 4 foi priorizado o critério Custo. Esse critério foi considerado de importância forte (cinco vezes mais importante) quando em comparação com os critérios Vazão Bombeada e Consumo de Energia e de importância levemente forte (três vezes mais importante) quando comparado com o critério Cobertura Populacional.

Assim, o AHP foi utilizado separadamente para o Setor RIRA (Objetivo 1) e para o Setor RVAM (Objetivo 2). Em cada uma das utilizações variou-se o peso dos critérios.

- **SIMULAÇÕES PARA O OBJETIVO 1**

Na Tabela 8 que segue são apresentados os resultados das hierarquizações para as quatro simulações citadas anteriormente no Setor RIRA.



Tabela 8: Resultados da hierarquização das quatro simulações feitas pelo AHP no Setor RIRA.

Hierarquia	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4
1º	Ação 1.1	Ação 2.1	Ação 1.1	Ação 2.1
2º	Ação 2.1	Ação 1.1	Ação 2.1	Ação 1.1
3º	Ação 3.1	Ação 3.1	Ação 3.1	Ação 3.1

A Tabela 8 demonstra que quando é dado maior peso para o critério Cobertura Populacional (Simulação 1) a principal ação a ser executada é a Ação 1.1, sendo esta a ação a que resulta em uma maior cobertura populacional no Setor RIRA, seguido da Ação 2.1 e, por último, a Ação 3.1. Em um segundo momento, quando é priorizado o critério Vazão Bombeada (Simulação 2), a ação com melhor resultado é a Ação 2.1, a qual apresenta uma vazão bombeada menor em relação às outras, em seguida aparecem as ações 1.1 e 3.1. Após, foi dado maior peso ao critério Consumo de Energia (Simulação 3), no qual novamente a ação que apresenta melhor resultado é a Ação 1.1, sendo esta a que apresenta menor consumo de energia quando comparada com as outras ações, após apresentam-se as ações 2.1 e 3.1. Por fim, quando é priorizado o critério Custo (Simulação 4), a ação com melhor resultado, isto é, a ação que possui menor custo, é a Ação 2.1, seguida da Ação 1.1 e, em último lugar, a Ação 3.1.

– SIMULAÇÕES PARA O OBJETIVO 2

Agora na seguinte Tabela 9 são mostrados os resultados da hierarquização para as quatro simulações feitas pelo AHP descritas anteriormente para o Setor RVAM.

Tabela 9: Resultados da hierarquização das quatro simulações feitas pelo AHP no Setor RVAM.

Hierarquia	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3	Simulação 4
1º	Ação 1.2	Ação 1.2	Ação 1.2	Ação 2.2
2º	Ação 2.2	Ação 2.2	Ação 2.2	Ação 1.2
3º	Ação 3.2	Ação 3.2	Ação 3.2	Ação 3.2

No Setor RVAM, de acordo com a Tabela 9, o resultado da hierarquização feita pelo AHP é o mesmo quando se é dado maior peso para o critério Cobertura Populacional (Simulação 1), depois para a Vazão Bombeada (Simulação 2) e por último para o Consumo de Energia (Simulação 3). Sendo nesses casos, a ação com melhor resultado para esses três critérios a Ação 1.2, em segundo lugar aparece a Ação 2.2, seguida da Ação 3.2. A Ação 1.2 é a que apresenta maior cobertura populacional, menor vazão bombeada e menor consumo de energia dentre todas, aparecendo, então, como a primeira ação a ser executada. Já, quando o peso maior foi dado ao critério Custo (Simulação 4), a ação mais interessante a ser executada é a Ação 2.2, pois foi a que apresentou menor custo dentre elas, seguido da Ação 1.2 e, por fim, da Ação 3.2.

CONCLUSÕES

A fim de melhorar a eficiência hidroenergética dos sistemas de abastecimento de água, nesse trabalho foram simuladas três ações em um determinado setor do estudo de caso em questão (Setor RIRA do Sistema Iraí – Vila Amélia – Alphaville). Essas ações foram simuladas com dois objetivos diferentes, sendo um desses objetivos obter maior cobertura populacional no Setor RIRA (Objetivo 1) propriamente, e um segundo objetivo, obter maior cobertura populacional no Setor RVAM (Objetivo 2). As ações foram simuladas com o intuito de verificar o resultado dessas em relação a quatro critérios, Cobertura Populacional, Vazão Bombeada, Consumo de Energia e Custo. Após a simulação e a obtenção dos resultados dos critérios para cada ação, foi utilizado o AHP a fim de hierarquizar e definir quais ações seriam mais interessantes de serem aplicadas em cada um dos dois setores (Setor RIRA e Setor RVAM). Como o AHP é um sistema de apoio à decisão multicritérios, foi possível simular diversas hierarquizações alterando apenas o peso dado a cada um dos critérios. Foram feitas quatro simulações pelo AHP para cada um dos dois setores (Setor RIRA e Setor RVAM), portanto, tendo sido dado maior peso ao critério Cobertura Populacional em um primeiro momento (Simulação 1), posteriormente foi dado maior peso ao critério Vazão Bombeada (Simulação 2), depois o critério Consumo de Energia foi priorizado (Simulação 3) e, por fim, o critério Custo foi definido como o mais importante (Simulação 4). Com isso, foi possível observar quais ações seriam prioritárias a serem executadas em cada um dos setores e se haveria diferença entre a hierarquização dessas quando da variação do peso dos critérios.

Como resultado observou-se no Setor RIRA que independentemente do peso dado aos critérios há um predomínio entre a execução das ações 1.1 e 2.1. Quando o maior peso foi dado aos critérios Cobertura



Populacional e Consumo de Energia, a primeira ação a ser executada é a Ação 1.1. Já, quando foram priorizados os critérios Vazão Bombeada e Custo, a ação 2.1 deve ser executada primeiramente. Ainda nesse setor, fica claro que ação que trará menos resultado é a Ação 3.1, pois quando comparada às outras essa ação é a que tem piores resultados nos quatro critérios, sendo muito custosa, consumindo muita energia, bombeando mais vazão e não apresentando uma grande cobertura populacional.

Com relação ao Setor RVAM, fica demonstrado em três das quatro hierarquizações realizadas (maiores pesos para Cobertura Populacional, Vazão Bombeada e Consumo de Energia) que a ação prioritária a ser executada no setor é a Ação 1.2, seguida da Ação 2.2 e, por último, a Ação 3.2. Assim, fica explícito que nesse caso é a Ação 1.2, independentemente de qual desses critérios seja priorizado, a que apresenta maior cobertura populacional para o setor, menor vazão bombeada e menor consumo de energia. Somente com relação ao critério Custo, é que a Ação 2.2 se sobressai em relação às outras.

O estudo, portanto, apresenta como resultado final quais ações de eficiência hidroenergética serão mais eficazes para cada um dos setores do estudo. Além disso, com a variação dos pesos dos critérios foi possível observar uma tendência em relação a quais ações devem ser executadas prioritariamente. Mesmo com a variação dos pesos dos critérios observou-se que não há grandes variações em relação às hierarquizações realizadas.

É importante ressaltar, ainda, que as ações de eficiência hidroenergética foram avaliadas com relação a critérios múltiplos, englobando uma avaliação social, pelo critério Cobertura Populacional, uma avaliação ambiental pelos critérios Vazão Bombeada e Consumo de Energia e uma avaliação econômica pelo critério Custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLIANCE TO SAVE ENERGY. Água e energia: Aproveitando as oportunidades de eficientização de água e energia não exploradas nos sistemas de águas municipais. Washington, USA: 2002.
2. ALVES, L. G. K.; NYKIEL, T. P.; BELDERRAIN; M. C. N. Comparação analítica entre métodos de apoio à decisão (AMD). **Anais do 13º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA**, p. 4–7, 2007.
3. BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento - SNSA, p. 212, 2016.
4. GOMES, H. P. Sistemas de Bombeamento - Eficiência Energética. 1ª Edição. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2009.
5. SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná. Plano Diretor SAIC: Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana. 2013. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/arquivos/saicplanodiretor.pdf>>.
6. SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná. Sistema Iraí - Vila Amélia. Projeto de Engenharia e Complementares. Relatório Técnico, 2014.
7. SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.