

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

Lucas Carvalho Knop de Almeida

**CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA AZUL PARA O SISTEMA DE
REPRESAMENTO DE ÁGUAS UTILIZADO PARA ABASTECIMENTO
PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA - MG**

**Juiz de Fora
2018**

Lucas Carvalho Knop de Almeida

**CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA AZUL PARA O SISTEMA DE
REPRESAMENTO DE ÁGUAS UTILIZADO PARA ABASTECIMENTO
PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA - MG**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial a obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista. Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Dr^a. Maria Helena Rodrigues Gomes

**Juiz de Fora
2018**

Lucas Carvalho Knop de Almeida

**CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA AZUL PARA O SISTEMA DE
REPRESAMENTO DE ÁGUAS UTILIZADOS PARA ABASTECIMENTO
PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA - MG**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial a obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista. Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr. Maria Helena Rodrigues Gomes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^a Dr. Aline Sarmiento Procópio
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus por ter me ajudado a chegar até aqui; a minha família por todo apoio, suporte e força, pois sem vocês eu não teria chegado onde cheguei; aos meus amigos por terem compartilhado tantos momentos de alegrias e serem suporte nos momentos difíceis; ao corpo docente da Engenharia Ambiental e Sanitária por terem me ensinado tanto, em especial a Maria Helena por me guiar na execução desse trabalho; aos colaboradores da Hidrosphera Engenharia Ltda. por compartilharem comigo os seus conhecimentos e terem se tornando uma referência na minha conduta profissional; a todos vocês, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

Os reservatórios de água têm contribuído de forma importante para o desenvolvimento humano, como abastecimento de água para consumo e geração de energia elétrica. Com a difusão dos reservatórios ao redor do mundo, foi reconhecido que eles são grandes contribuintes para a evaporação da água. A perda de água por evaporação nos reservatórios deve ser considerada para melhor segurança hídrica da população. A pegada hídrica azul é um indicador de uso da água capaz de mensurar a água perdida por evaporação nos reservatórios. O município de Juiz de Fora - MG, utiliza água de três reservatórios para abastecimento público. Para o período de 1995 a 2016, o município tem um consumo médio per capita de 161,85 l/hab.dia e uma perda mais de 8,7 milhões de metros cúbicos de água por ano nas redes de abastecimento. A evapotranspiração de referência de Juiz de Fora apresenta valores decrescentes de janeiro a junho e crescentes de junho a dezembro. Nos cenários onde os reservatórios permanecem com volumes constantes ao longo do ano, a pegada hídrica azul dos reservatórios é de: 475.201 m³/mês quando os reservatórios estão no volume morto; 1.336.503 m³/mês quando estão na metade de suas capacidades e 2.376.006 m³/mês quando estão totalmente cheios. Considerando a pegada hídrica mais a perda de água nas redes de distribuição, as perdas de água na cidade são capazes de abastecer mais de 500 mil habitantes ou então, também considerando a pegada hídrica, o consumo médio per capita do município chega a 530 l/hab.dia. Esse estudo mostra como a pegada hídrica dos reservatórios está relacionada com o clima da região e com a área do espelho de água.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	OBJETIVO	9
3.	REVISÃO DA LITERATURA	10
3.1.	PEGADA HÍDRICA.....	10
3.2.	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	12
3.3.	CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA DA USINA HIDRELÉTRICA DE CAMARGOS.....	13
3.4.	PEGADA HÍDRICA CINZA PARA SUB-BACIA DO MONJOLINHO NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS	15
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	18
4.1.1.	Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna	18
4.1.2.	Mananciais de captação de água em Juiz de Fora	18
4.1.2.1.	<i>Represa Doutor João Penido</i>	19
4.1.2.2.	<i>Ribeirão Espírito Santo</i>	19
4.1.2.3.	<i>Represa de São Pedro</i>	19
4.1.2.4.	<i>Barragem Chapéu d’Uvas</i>	20
4.1.3.	Dados de Consumo de Água de Juiz de Fora	20
4.1.4.	Dados Climatológicos	22
4.2.	CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA AZUL PARA O SISTEMA DE REPRESAMENTO DE ÁGUA	22
4.2.1.	Cálculo da Evaporação de Referência	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6.	CONCLUSÃO	32
7.	BIBLIOGRAFIA	33

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países mais ricos em água doce do mundo, estima-se que 10% de toda água doce superficial do mundo está disponível nele. No entanto, esse recurso sofre uma grande variação no tempo e no espaço entre as diferentes regiões do país (ANA, 2002). Enquanto um habitante do Amazonas tem disponíveis 700.000 m³/ano, um habitante da região metropolitana de São Paulo tem somente 280 m³/ano (TUNDISI, 2008).

A água é um elemento fundamental para a vida. Ela proporciona múltiplos usos que são indispensáveis para a sobrevivência humana, tais como: o consumo humano, o uso industrial, a irrigação, a geração de energia elétrica e as atividades de recreação; e também para a manutenção do meio ambiente (BARROS et al., 2012).

Compreender a dinâmica das águas e quais fatores interferem em sua qualidade e quantidade é de fundamental importância para planejar o seu uso, tendo em vista que a água é um dos principais recursos naturais disponíveis para a sociedade (SAAD et al., 2007).

Durante séculos as populações recorrem à construção de represas para ganhar controle sobre a água doce disponível para consumo humano, sendo intensificadas no meio Século XX. Os reservatórios têm contribuído de forma importante para o desenvolvimento humano de várias maneiras tais como o armazenamento de água para o consumo humano e geração de energia elétrica (GERNAAT et al., 2017).

Uma vez que os reservatórios artificiais se espalharam por diversas regiões do planeta, foi reconhecido que eles são grandes contribuintes para a evaporação da água (HOEKSTRA, 2013).

A evaporação é um importante processo do ciclo hidrológico e sua quantificação é primordial para diversos projetos e ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos. A perda de água nos reservatórios por evaporação deve ser considerada para melhor segurança hídrica da população, uma vez que essas perdas são consideráveis (BUENO, 2014).

Por ser um indicador de uso direto e indireto da água, a pegada hídrica é capaz de mensurar a água perdida por evaporação nos reservatórios de água, podendo auxiliar na gestão e no gerenciamento dos recursos hídricos e contribuir com a segurança hídrica da população.

Através desse indicador, é possível estimar o volume real de água necessário para atender uma dada população ao contabilizar a pegada hídrica nos dados de consumo de água de dessa região. Essas informações podem ser especialmente úteis em situação de estresse hídrico.

2. OBJETIVO

Calcular a pegada hídrica azul do sistema de represamento de águas utilizado para abastecimento público no município de Juiz de Fora - Minas Gerais, para o período de 1996 a 2016, e comparar os resultados obtidos com os dados de consumo de água do município.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. PEGADA HÍDRICA

O conceito de pegada hídrica foi introduzido em 2002 por Arjen Hoekstra, na reunião de peritos internacionais sobre comércios de água virtual realizado em Delf na Holanda (HOEKSTRA & HUNG, 2002) e está estreitamente ligado ao conceito de água virtual, apresentado por Allan (1993), no início dos anos noventa.

A água virtual contida em um produto ou serviço é a água que o processo produtivo necessita, mas não no sentido real, ela está presente de forma virtual. Para produzir 1 kg de batata, são necessários 305 kg de água, equivalente a 305 litros, para 1 kg de soja, são necessários 2244 kg de água e para 1 kg de feijão seco, são necessários 5846 kg de água (HOEKSTRA & HUNG, 2002).

O comércio de água virtual entre países é uma forma de garantir segurança e uso eficiente dos recursos hídricos. Comercializar água entre países com uma grande riqueza de recursos hídricos e países pobres em água, muitas vezes é inviável devido às distâncias. Porém, fabricar um determinado produto, que demanda uma alta quantidade de água, em uma região rica nesse recurso e com condições climáticas favoráveis, é muito mais econômico do que transportar e armazenar água em reservatórios para produzi-los em regiões desfavoráveis (HOEKSTRA, 2003b).

Para alguns especialistas em recursos hídricos, os conflitos de água não são causados pela escassez física da água, mas principalmente pela má gestão dos recursos hídricos (ALADAYA et al., 2010). Para outros, é o resultado de uma sucessão de problemas relacionados ao meio ambiente, economia e desenvolvimento social (GLEICK, 2014). Já para uma terceira linha de pensamento, os problemas da água decorrem de dificuldades reais de disponibilidade e demanda por água, sendo agravada por uma gestão ineficaz (SOMLYODY & VARIS, 2006).

Um país pode preservar os seus recursos hídricos importando produtos que demandam uma grande quantidade de água em sua produção ao invés de fabricá-los, podendo utilizar a água poupada para cultivar culturas que tenham um maior valor de mercado ou atender as necessidades internas do país (ALADAYA et al., 2010).

Mensurando toda água que é necessária na cadeia produtiva de um determinado produto, a pegada hídrica tem potencial de encontrar soluções e contribuir para a melhor gestão de recursos

hídricos (HOEKSTRA, 2003a), pois é um indicador de uso da água que considera o uso direto e indireto de um consumidor ou de um produto (HOEKSTRA et al., 2011). Para exemplificar, o uso direto de um consumidor é a água utilizada para fazer as tarefas domésticas, já o uso indireto, corresponde a água utilizada na produção de bens e serviços utilizados por esse consumidor. A pegada hídrica de um produto é a quantificação total de água utilizada ao longo de toda a cadeia produtiva. Dessa forma, é possível identificar quando, onde e como os consumidores, produtores, processos e produtos individuais demandaram desse recurso (HOEKSTRA & MEKONMEN, 2011).

A pegada hídrica é dividida em Pegada Hídrica Azul, Pegada Hídrica Verde e Pegada Hídrica Cinza em que (HOEKSTRA et al., 2011):

- Pegada Hídrica Azul (PH_{azul}): é um indicador de uso consultivo da água doce superficial ou subterrânea, ou seja, é toda água que evapora, que é incorporada em um produto, que não retorna para a mesma bacia hidrográfica ou não retorna para a bacia no mesmo período que foi retirada.

A pegada hídrica azul da etapa de um processo é calculada através da equação (1):

$$PH_{azul}[\text{volume/tempo}] = EAA + IAZ + VRP \quad (1)$$

Onde: EAA é a evaporação da água azul durante sua armazenagem ou transporte; IAZ é a incorporação da água azul durante a produção/cultivo de algum bem/alimento e VRP é a vazão de retorno perdida, referente à porção do fluxo de retorno que não está disponível para o reuso dentro da mesma bacia hidrográfica.

- Pegada Hídrica Verde (PH_{verde}): é um indicador de uso da água da chuva, que não escoou ou não repõe a água subterrânea, pelo homem. Essa água é armazenada no solo ou permanece temporariamente na superfície do solo ou das plantas, sendo que parte dessa precipitação evapora ou é transpirada pelas vegetações.

A pegada hídrica verde da etapa de um processo é calculada através da equação (2):

$$PH_{verde}[\text{volume/tempo}] = EAV + IAV \quad (2)$$

Onde: EAV é a evaporação da água verde e IAV é a incorporação da água verde.

- Pegada Hídrica Cinza (PH_{cinza}): é um indicador do grau de poluição da água que pode estar relacionada com a etapa do processo. É a quantidade de água necessária para assimilar a carga de poluentes, afim de que as concentrações em condições naturais sejam atingidas e as legislações existentes sejam respeitadas.

A pegada hídrica cinza da etapa de um processo é calculada pela equação (3):

$$PH_{cinza} [\text{volume/tempo}] = L / (C_{m\acute{a}x} - C_{nat}) \quad (3)$$

Sendo: L a carga de poluentes em massa/tempo; $C_{m\acute{a}x}$ a concentração padrão de um poluente segundo a legislação vigente em massa/volume e C_{nat} é a concentração natural do poluente encontrado no corpo receptor em massa/volume.

- Pegada Hídrica Total (PH): é um indicador que considera as pegadas hídricas azul, verde e cinza e representa o total de água consumida.

A pegada hídrica total é calculada pela seguinte equação (4):

$$PH [\text{volume/tempo}] = PH_{azul} + PH_{verde} + PH_{cinza} \quad (4)$$

3.2. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

A estimativa das perdas água por evaporação e transpiração é de grande importância para atividades como projetos de irrigação, gerenciamento de reservatórios e planejamento de uso e outorga de recursos hídricos. A evapotranspiração de referência (ET_o) é o processo de perda de água para a atmosfera por meio de uma superfície padrão gramada, cobrindo a superfície do solo e sem restrição de umidade (BORGES & MENDIONDO, 2007). A ET_o é muito utilizada em balanços hídricos climatológicos, na previsão de desenvolvimento de culturas e no monitoramento de secas (CONCEIÇÃO & MANDELLI, 2005).

Quando não é possível obter a ET_o experimentalmente, métodos estatísticos podem ser empregados. A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID), Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) consideram o método de

Penman-Monteith como padrão de cálculo da evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos (ALLEN et al., 1998).

A equação de Penman foi desenvolvida através da relação entre a velocidade do vento e a superfície de água livre, tendo como base duas premissas: que as fontes e sumidouros de calor sensível ocorrem no mesmo plano; e que a pressão de vapor da superfície evaporante seja igual à pressão de vapor de saturação da água a temperatura da superfície (PERES, 1994).

Com o objetivo de avaliar a estimativa da ETo com dados meteorológicos limitados, Carvalho et al. (2015) utilizaram uma série de dados compreendida entre 01/01/2008 e 20/03/2011 para 46 cidades da região Sudeste do Brasil. Os cálculos foram realizados através do método de Penman-Monteith FAO, considerado como método padrão pelos autores.

Segundo os autores, os cenários de dados faltosos foram os seguintes: método padrão, método padrão com o uso da radiação solar estimada pelo balanço entre ondas curtas e longas; método padrão com uso da pressão de vapor estimada pela umidade relativa do ar e pelas temperaturas máximas e mínimas; e método padrão com uso da velocidade do vento constante (CARVALHO et al., 2015).

Os valores da evapotranspiração calculados para o município de Juiz de Fora, através do método padrão, foram de $3,32 \pm 0,89$ mm/dia, 1,42 mm/dia e 5,65 mm/dia, referentes a valores médios diários, mínimos diários e máximos diários, respectivamente. Os autores observaram que, em Minas Gerais, os valores são decrescentes de janeiro a junho e crescentes de julho a dezembro (CARVALHO et al., 2015).

3.3. CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA DA USINA HIDRELÉTRICA DE CAMARGOS (BUENO, 2014)

A quantificação da pegada hídrica, para a geração de energia, é expressa pela relação entre a evaporação dos reservatórios e a energia produzida (m^3/GJ^1), sendo o consumo de água para operação da usina é desconsiderado.

O clima predominante onde se encontra o reservatório da usina hidrelétrica de Camargos, segundo classificação de Köppen, é temperado (Cwa), caracterizado por verões amenos e úmidos e invernos frios e secos.

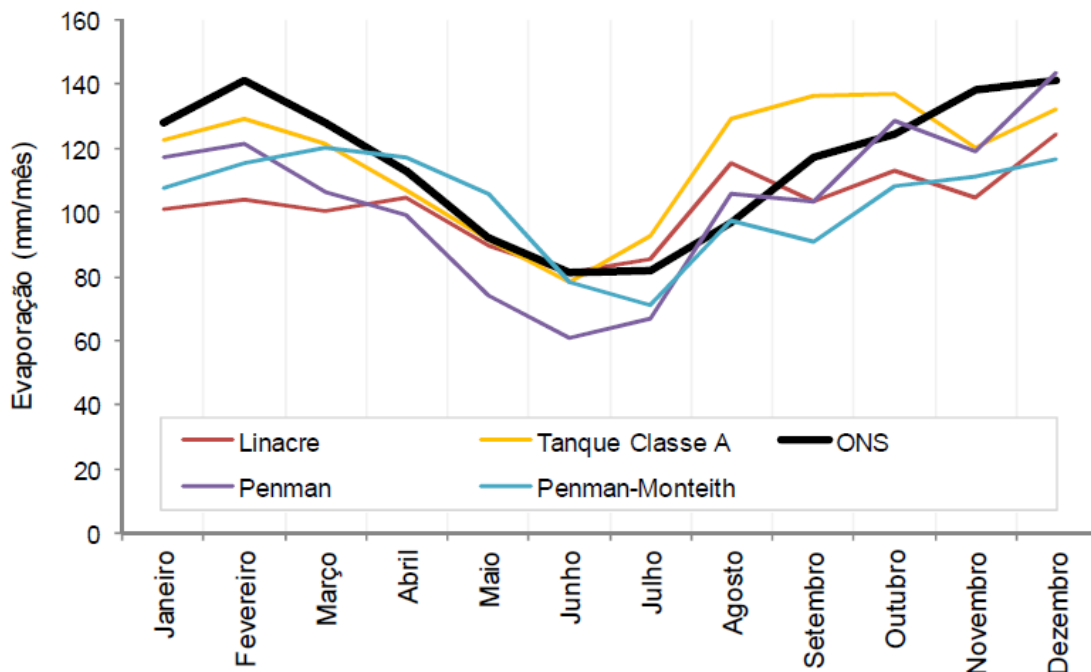
¹ Giga Joule

Os dados diários de geração de energia elétrica, para um período de dois anos, foram fornecidos pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e os dados climatológicos diário foram obtidos de duas estações climatológicas distintas. A primeira é a Estação Climatológica Principal de Lavras, que fica cerca de 40 km de distância da área de estudo. A segunda estação é a Estação Marcela, localizada cerca de 6 km do reservatório. Porém, na primeira estação, só foram utilizadas as leituras de evaporação do tanque Classe A.

A estimativa da evaporação média diária do reservatório da UHE de Camargos foi feita pelos métodos de Linacre, Penman e Penman-Monteith e, também, através das leituras do tanque Classe A. Os resultados foram comparados com os resultados obtidos pelo Programa SisEvapo v2.0.

A distribuição da evaporação média mensal ao longo do ano apresentou um padrão bem semelhante para todos os métodos estudados, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Evaporação média mensal do reservatório da UHE de Camargos, obtida pelos métodos do Tanque Classe A, Linacre, Penman, Penman-Monteith e ONS (Programa SisEvapo v2.0 com as Normais Climatológicas 1961-1990)



Fonte: BUENO, 2014

A Pegada Hídrica para geração hidrelétrica (PH) [m^3/GJ] é obtida pela divisão da evaporação anual (E) [m^3/ano] pela produção anual de energia (H) [GJ/ano] conforme apresentado na equação 5.

$$PH = \frac{H}{E} \quad (5)$$

Foram calculadas as Pegadas Hídricas mensais e anuais para os dois anos de dados e por fim obteve-se um valor médio anual para UHE de Camargos, conforme mostrado no Quadro 1.

Mesmo com uma taxa de evaporação anual mediana e com um reservatório pequeno, a UHE de Camargo apresenta uma pegada hídrica muito elevada quando comparada com a média global (68 m³/GJ) e com a média nacional (86 m³/GJ). A pegada hídrica média da UHE de Camargo em volume por tempo é cerca de 32 m³/s.

Quadro 1 – Pegada hídrica para geração de energia na UHE de Camargo

Mês	Energia Gerada (GJ/mês)	Pegada Hídrica Real (m ³ /GJ)				
		Tanque Classe A	Linacre	Penman	Penman-Monteith	ONS
Janeiro	75422	96	79	92	84	100
Fevereiro	52926	136	109	128	122	149
Março	68306	122	101	107	121	129
Abril	67972	114	111	105	124	120
Maio	60713	109	107	89	127	110
Junho	57278	98	101	77	98	101
Julho	57807	113	103	81	86	100
Agosto	45016	194	174	159	147	146
Setembro	48523	178	134	134	118	152
Outubro	43468	183	150	172	144	166
Novembro	44126	157	137	156	146	181
Dezembro	57756	126	118	137	111	134

Fonte: Modificado de BUENO, 2014

3.4. PEGADA HÍDRICA CINZA PARA SUB-BACIA DO MONJOLINHO NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS - SP (ZAFFANI ET AL., 2011)

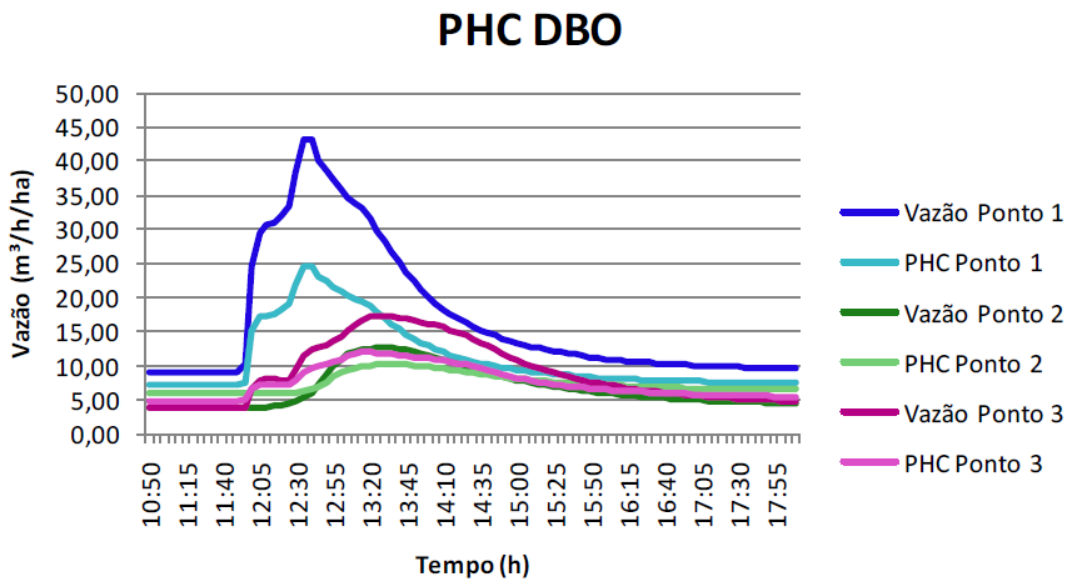
A pegada hídrica cinza foi utilizada com um indicador de sustentabilidade na sub-bacia Monjolinho, que corresponde a região urbana do município de São Carlos. Ela foi calculada em três pontos de monitoramento da bacia com os seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais e fosfatos totais. O ponto 1 fica a jusante da área (9,5 km²) com o maior índice de urbanização. O ponto 2 tem 51,7 km² de área de drenagem e

impermeabilização menor do que o ponto 1. Já ponto 3 tem a maior área de drenagem, 77,4 km² e o menor índice de urbanização.

A pegada hídrica cinza foi calculada utilizando a equação 3. Os dados da carga de poluentes foram obtidos através do trabalho do Pehovaz (2010) apud Zaffani et al., 2011, a concentração padrão dos poluentes foi adotada com base na Resolução CONAMA N° 357/2015 e como zero a concentração natural dos poluentes, uma vez que esses valores não foram encontrados na literatura.

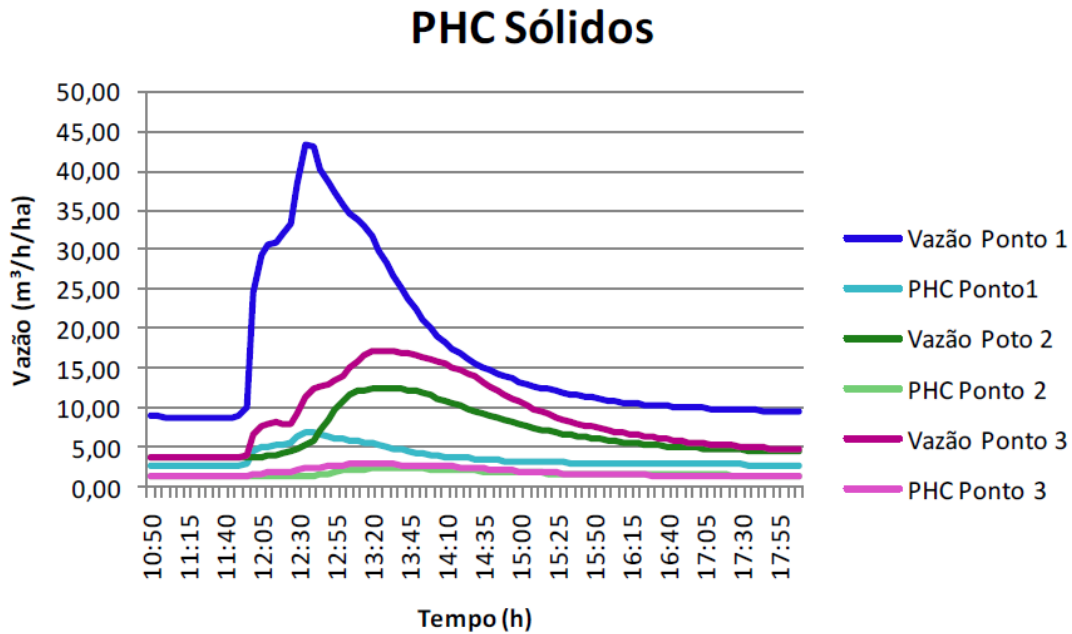
A pegada hídrica cinza de fósforo total, no ponto 1, foi superior a vazão regular do curso d'água, caracterizando uma situação insustentável, enquanto a DBO e os sólidos totais ficaram abaixo. No ponto 2, a pegada hídrica do fósforo total sofreu uma diminuição quando comparada com o ponto 1, mas ainda assim ficou superior a vazão do curso d'água. Nesse ponto, a DBO se torna insustentável fora do pico de vazão do rio. A situação anterior se repete no ponto 3, como mostrado nas Figuras 2, 3 e 4.

Figura 2 - Pegada Hídrica Cinza de DBO para os três pontos de monitoramento



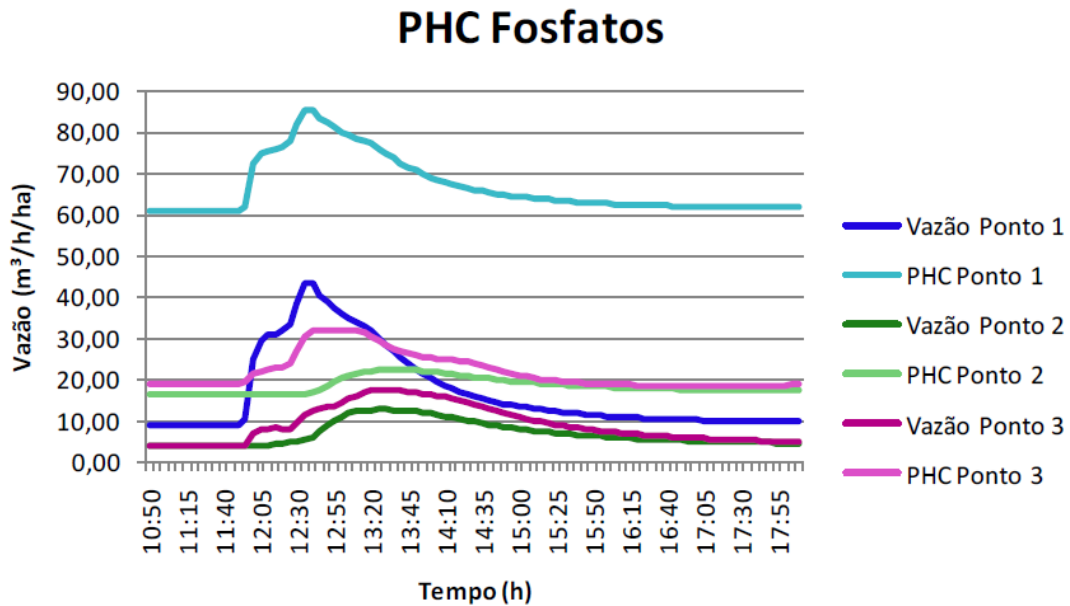
Fonte: ZAFFANI et al., 2011

Figura 3 - Pegada Hídrica Cinza de sólidos totais para os três pontos de monitoramento



Fonte: ZAFFANI et al., 2011

Figura 4 - Pegada Hídrica Cinza de fosfatos para os três pontos de monitoramento



Fonte: ZAFFANI et al., 2011

Esse estudo comprova que a pegada hídrica é um ótimo indicador de sustentabilidade, pois através do cálculo da pegada hídrica cinza foi possível evidenciar de forma simples as diferentes intensidades de impacto causadas pela urbanização da sub-bacia de Monjolinho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Juiz de Fora é um município localizado na Zona da Mata Mineira, no Vale do Rio Paraibuna, sub-bacia do Rio Paraíba do Sul. Com uma população estimada em 559.636 habitantes em uma área de 1.435,749 Km², Juiz de Fora tem um Produto Interno Bruto (PIB) per capita de R\$ 24.913,80, sendo que a agropecuária é responsável por 0,43% do PIB, as indústrias por 26,72% e serviços corresponde por 72,85% do PIB juiz-forano (IBGE, 2017).

O clima do município de Juiz de Fora é classificado como Cwa segundo a classificação de Köppen, ou seja, um clima mesotérmico com verões quentes e chuvosos. Genericamente, o clima da cidade pode ser classificado como Tropical de Altitude, em vista que o relevo local apresenta altitudes médias entre 700 e 900 m, que contribuem para a amenização de suas temperaturas. Juiz de Fora apresenta duas estações bem definidas, uma que se inicia em outubro e vai até abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações e a outra que vai de maio a setembro, com temperaturas mais baixas e menores precipitações (SOARES, 2007).

4.1.1. Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna

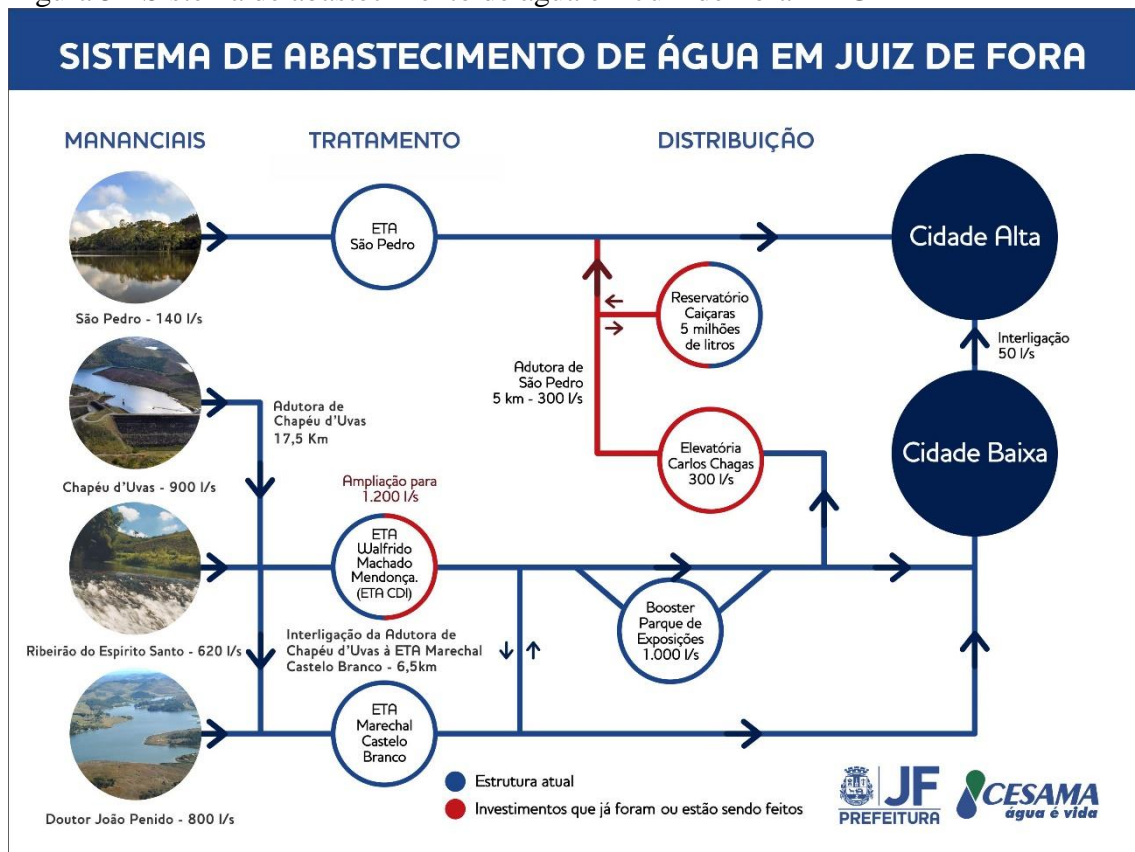
O rio Paraibuna está contido na bacia hidrográfica do rio Paraibuna do Sul, na Região Sudeste. Ele nasce no município mineiro de São Carlos, localizado na serra da Mantiqueira, e deságua no rio Paraíba do Sul, próximo a cidade de Três Rios - RJ, sendo seu principal afluente em volume de água (CESAMA, 2017a).

Os três principais afluentes do rio Paraibuna são o rio Preto, o rio do Peixe e o rio Kágado, formando uma bacia com 8.558 km² de área de abrangência. Vinte e três cidades estão localizadas nessa bacia, sendo que nove são cortadas pelos 166 km de extensão do Paraibuna (CESAMA, 2017a).

4.1.2. Mananciais de captação de água em Juiz de Fora

A cidade de Juiz de Fora capta água de quatro mananciais: Represa Dr. João Penido, Ribeirão Espírito Santo, Represa de São Pedro e Barragem Chapéu d'Uvas. Na Figura 5 está apresentado o novo sistema de abastecimento de água de Juiz de Fora considerando a contribuição da Barragem de Chapéu d'Uvas.

Figura 5 - Sistema de abastecimento de água em Juiz de Fora - MG



Fonte: CESAMA, 2017b

4.1.2.1. Represa Doutor João Penido

Situada a uma distância de 10 Km da malha urbana de Juiz de Fora, a represa Dr. João Penido foi construída em 1934 no Ribeirão dos Burros, afluente do Rio Paraibuna, com a finalidade exclusiva de reservatório de acumulação de água para o abastecimento da cidade. A área de superfície do reservatório é de 3,7 Km² (CESAMA, 2017b).

4.1.2.2. Ribeirão Espírito Santo

O ribeirão Espírito Santo é caracterizado como um manancial de passagem, pois a captação é feita diretamente no leito do curso d'água, sem um represamento. Com uma bacia hidrográfica de 147,8 Km² e 17 Km de extensão, o Ribeirão Espírito Santo é um afluente do Rio Paraibuna, sendo responsável por 40% do abastecimento de água de Juiz de Fora (CESAMA, 2017c).

4.1.2.3. Represa de São Pedro

Os principais afluentes da represa São Pedro são os córregos de São Pedro e Grota do Pinto, formando uma bacia de 13 Km². A área de espelho d'água do manancial é de 0,04 Km², sendo

capaz de produzir até 140 litros de água por segundo, sendo responsável por abastecer cerca de 8% do município (CESAMA, 2017d).

4.1.2.4. Barragem Chapéu d'Uvas

A Barragem Chapéu d'Uvas, situada a 50 Km da nascente do Rio Paraibuna, forma um espelho d'água de até 12 Km². O manancial é capaz de produzir até 5000 litros de água por segundo, mas somente 900 litros de água por segundo são utilizados (CESAMA, 2017e).

4.1.3. Dados de Consumo de Água de Juiz de Fora - MG

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) disponibiliza informações e indicadores de água e esgoto dos municípios brasileiros. A Quadro 2 foi construído com dados de população total atendida com abastecimento de água, volumes de água produzido, consumido e de serviço, índice de perdas na distribuição e consumo médio per capita de água de 1995 a 2016 disponíveis para a cidade de Juiz de Fora.

A metodologia utilizada pelo SNIS para o cálculo do índice de perdas na distribuição está apresentada na equação 6 e a metodologia para o cálculo do consumo médio per capita está apresentado na equação 7.

$$IN049 = \frac{AG006 + AG018 - AG024 - AG010}{AG006 + AG018 - AG024} \cdot 100 \quad (6)$$

$$IN022 = \left(\frac{AG010 - AG019}{\frac{AG001 + AG001a}{2}} \right) \cdot \left(\frac{1000000}{365} \right) \quad (7)$$

Onde:

- AG001 - População total atendida com abastecimento de água (habitantes);
- AG001a - População total atendida com abastecimento de água no ano anterior (habitantes);
- AG006 - Volume de água produzido (1.000 m³/ano);
- AG010 - Volume de água consumido (1.000 m³/ano);
- AG018 - Volume de água tratada importado (1.000 m³/ano);
- AG019 - Volume de água tratada exportado (1.000 m³/ano)

- AG024 - Volume de serviço (1.000 m³/ano);
- IN049 - Índice de perdas na distribuição (percentual);
- IN022 - Consumo médio per capta de água (l/hab.dia).

Quadro 2 – Informações e indicadores de água do município de Juiz de Fora – MG

Ano	AG001 - População total atendida com abastecimento de água (Habitantes)	AG006 - Volume de água produzido (1.000 m³/ano)	AG010 - Volume de água consumido (1.000 m³/ano)	AG024 - Volume de serviço (1.000 m³/ano)	IN049 - Índice de perdas na distribuição (percentual)	IN022 - Consumo médio per capta de água (l/hab.dia)
1995	416.000	37.595,00	27.375,00	-	-	180,30
1996	424.900	40.274,10	27.626,85	-	-	178,10
1997	444.852	43.518,95	28.616,00	-	-	176,20
1998	416.838	42.301,40	29.350,20	-	30,61	186,60
1999	435.172	48.722,00	28.889,59	-	40,70	185,80
2000	442.670	40.447,00	28.268,59	-	30,10	176,50
2001	452.096	40.238,10	27.332,50	-	32,07	167,40
2002	466.839	40.314,10	27.609,10	1.035,00	29,71	164,60
2003	475.400	42.968,50	27.690,60	1.895,70	32,58	161,00
2004	483.854	40.447,00	27.018,30	1.744,00	30,19	154,30
2005	491.469	41.186,00	27.533,60	1.989,00	29,75	154,70
2006	498.044	40.794,30	27.901,10	1.779,50	28,48	154,50
2007	502.269	41.497,14	28.026,59	2.133,14	28,80	153,50
2008	509.936	40.633,23	27.611,91	2.131,18	28,28	149,40
2009	516.235	43.592,00	28.373,00	2.234,00	31,40	150,50
2010	504.711	40.513,86	28.655,34	2.092,42	25,42	153,80
2011	509.479	41.631,62	29.270,68	2.347,64	25,49	158,10
2012	514.096	44.177,43	29.575,57	2.303,64	29,37	158,30
2013	534.714	48.860,46	29.752,90	3.751,13	34,04	155,44
2014	526.640	49.540,39	29.481,87	4.509,41	34,53	152,21
2015	532.176	43.384,72	27.800,72	2.443,97	32,10	143,87
2016	531.830	43.493,76	28.249,51	2.243,23	31,52	145,48

Fonte: SNIS, 2018.

O volume de água tratada importado (AG018) e o volume de água tratada exportado (AG019) para todos os anos no período estudo foi igual a zero.

4.1.4. Dados Climatológicos

Os dados climatológicos necessários para o cálculo da pegada hídrica azul foram obtidos da Estação Meteorológicas de Juiz de Fora - Minas Gerais, localizada no ponto de coordenada - 21°46'0,01" e - 43°21'51,58". A altitude do local é de 937 metros.

Em função da disponibilidade de dados consistentes sobre consumo de água em Juiz de Fora, as informações coletadas no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) são referentes à um período de 22 anos, de janeiro de 1995 a dezembro de 2016.

Através das médias compensadas diárias coletadas no INMET, foi feita uma média aritmética entre todos os janeiros, fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, dos 22 anos de dados coletados. Obtendo-se uma média de cada dado climatológico referente aos doze meses ano.

Os dados climatológicos necessários para o cálculo da pegada hídrica são os seguintes: velocidade do vento, temperatura mínima, temperatura média, temperatura máxima, umidade relativa do ar e pressão atmosférica.

4.2. CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA AZUL PARA O SISTEMA DE REPRESAMENTO DE ÁGUA

Para cálculo da pegada hídrica azul, referente ao sistema de represamento de água para abastecimento público do município de Juiz de Fora - MG, utilizou-se os mananciais que possuem represamento, sendo estes: represa Dr. João Penido, represa de São Pedro e barragem de Chapéu d'Uvas. O ribeirão Espírito Santo não faz parte do cálculo da pegada hídrica azul, pois a captação de água é feita sem interferência no curso d'água. Já os outros mananciais ao represar água, a área de espelho d'água se torna muito maior, aumentando significativamente a evaporação do reservatório.

A pegada hídrica azul do represamento é calculada pela equação 8. Onde ET_{oPMF} é a evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO, a área na equação é a área do reservatório e o "k" é o fator de correção da área do reservatório.

$$PH_{\text{azul de represamento}} [m^3/\text{ano}] = ET_{oPMF} \cdot \text{Área} \cdot k \quad (8)$$

É necessário utilizar o fator de correção k uma vez que em condições normais, os reservatórios não estão em suas capacidades totais de armazenamento. Esse fator é proveniente da relação entre volume - área e assume-se que a seção do reservatório tem a forma de um trapézio. O fator k igual a 0,2 é referente ao reservatório preenchido apenas até seu volume morto, 0,5625 referente a metade de sua capacidade preenchida e k igual a 1 quando o reservatório está totalmente cheio (HOGEBOOM et al., 2018).

4.2.1. Cálculo da Evaporação de Referência

A estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Juiz de Fora foi feita pelo método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998) e a sua metodologia de cálculo encontra-se descrita abaixo. Utilizando os dados climatológicos dos anos de 1995 a 2016, o cálculo foi feito a partir das médias mensais do período em questão através da equação 9.

$$ET_{oPMF} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \frac{\gamma \cdot 900 \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (9)$$

Onde:

- ET_{oPMF} é a evaporação de referência (mm/dia);
- Δ é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa/°C);
- R_n é o saldo de radiação diário (MJ/m².dia);
- G é o fluxo total diário de calor no solo (MJ/m².dia);
- γ é o coeficiente psicométrico (kPa/°C);
- U_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m/s);
- e_s é a pressão de saturação do vapor (kPa);
- e_a é a pressão atual de vapor (kPa);
- T é a temperatura média do ar (°C).

Para o cálculo da declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura Δ tem-se a seguinte expressão [kPa/°C]:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T+237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (10)$$

O coeficiente psicrométrico γ é calculado através da seguinte expressão [kPa/°C]:

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot P_{atm} \quad (11)$$

Onde P_{atm} é a pressão atmosférica do local [kPa].

O déficit de saturação [kPa], diferença entre a pressão de saturação do vapor (e_s) e a pressão atual de vapor (e_a), obtido com as seguintes equações:

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp\left[\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right] \quad (12)$$

$$e_a = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (13)$$

Onde UR é a umidade relativa média do ar [%].

A estação meteorológica de Juiz de Fora não dispõe de sensores capazes de determinar o saldo de radiação (R_n), por tanto para a realizar o cálculo da evapotranspiração, foi necessário estimar o saldo de radiação através das seguintes expressões [MJ/m².dia]:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (14)$$

Onde: R_{ns} é o saldo de radiação de ondas curtas [$\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$] e R_{nl} é o saldo de radiação de ondas longas [$\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$].

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \cdot R_s \quad (15)$$

Onde α é o coeficiente de reflexão (albedo), considerado igual a 0,07 (MONTEITH, 1965) para água e R_s é a radiação solar incidente [$\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$].

O saldo de radiação de ondas longas é proporcional à temperatura absoluta da superfície elevada quarta potência. Essa relação é expressa quantitativamente pela lei de Stefan-Boltzmann. Como o fluxo de energia que sai da superfície terrestre é menor que valor dado pela expressão devido a absorção e radiação na atmosfera, é feita uma correção através da umidade e nebulosidade.

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{max} + 273,16)^4 + (T_{min} + 273,16)^4}{2} \right] \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (16)$$

Onde:

- σ é a constante de Stefan-Boltzmann [$4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$];
- T_{max} é a temperatura máxima [$^{\circ}\text{C}$];
- T_{min} é a temperatura mínima [$^{\circ}\text{C}$];
- R_{so} é a radiação solar incidente na ausência de nuvens [$\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$];
- e_a é a pressão atual de vapor [kPa].

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot R_a \quad (17)$$

Onde z é a altitude (m) e R_a é a radiação no topo da atmosfera [$\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$].

$$Ra = \frac{118,08}{\pi} \cdot dr [\omega_s \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s)] \quad (18)$$

Onde:

- dr é a distância inversa relativa entre a Terra e o Sol [rad];
- ω_s é o ângulo horário ao nascer do Sol [rad];
- φ é a latitude do local [rad];
- δ é a declinação solar [rad].

A distância inversa relativa entre a Terra e o Sol é calcula pela seguinte expressão [rad]:

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J\right) \quad (19)$$

Sendo J o dia no ano.

A declividade solar é calculada equação a seguir [rad]:

$$\delta = 0,49 \cdot \text{sen}\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J - 1,39\right) \quad (20)$$

A expressão de cálculo do ângulo horário ao nascer do sol é a seguinte [rad]:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)}{\sqrt{X}}\right] \quad (21)$$

Sendo que:

$X = (1 - [\tan(\varphi)]^2 \cdot [\tan(\delta)]^2)$ ou adota-se um valor de 0,00001 para $X \leq 0$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados climáticos, referentes ao período de janeiro de 1995 a dezembro de 2016, necessários para o cálculo do EToPMF estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Dados Climáticos do município de Juiz de Fora - MG

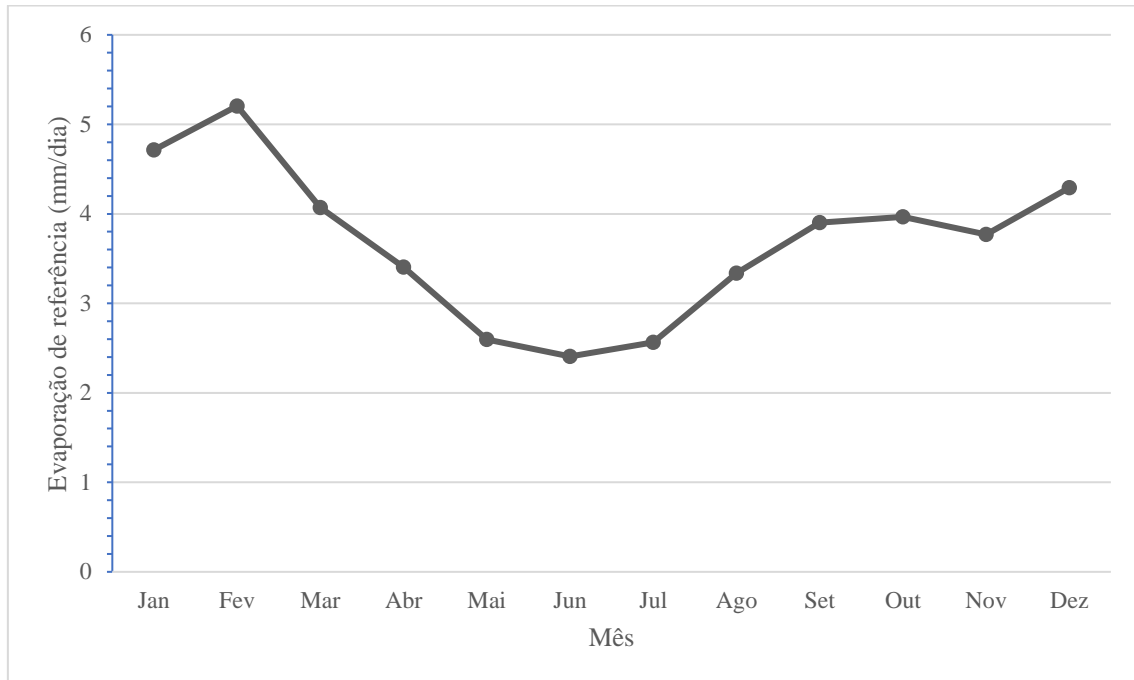
Mês	Velocidade do vento (m/s)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	Pressão Atmosférica (kPa)
Janeiro	2,73	17,97	21,83	27,43	80,67	90,97
Fevereiro	2,60	18,16	22,26	28,29	77,98	91,05
Março	2,59	17,58	21,33	27,02	81,98	91,07
Abril	2,55	16,28	19,99	25,47	81,20	91,20
Mai	2,57	13,83	17,43	22,60	81,45	91,31
Junho	2,44	13,09	16,65	22,18	79,98	91,45
Julho	2,60	12,70	16,57	22,21	77,28	91,51
Agosto	2,77	13,24	17,57	23,66	72,21	91,48
Setembro	2,95	14,13	18,45	24,51	73,48	91,33
Outubro	2,78	15,34	19,57	25,49	77,14	91,15
Novembro	2,80	16,17	19,82	25,22	83,40	90,98
Dezembro	2,72	17,37	21,15	26,66	83,12	90,92

Para o período analisado, as temperaturas mais elevadas foram encontradas nos primeiros três meses do ano, principalmente em fevereiro, que apresenta as maiores médias de temperaturas mínima, média e máxima, onde a média da temperatura máxima fica acima dos 28°C. Já os meses mais frios, junho, julho e agosto, a temperatura não chega aos 24°C, sendo que em julho a média da temperatura mínima é menor que 13°C. A umidade relativa do ar tende a ser menor de julho a outubro e mais elevada nos outros meses. Os demais parâmetros não sofrem uma grande variação ao longo dos meses.

Os valores encontrados acima são muito semelhantes aos das Normais Climatológicas de Juiz de Fora para o período de 1981 a 2010 (INMET, 2018b), exceto por fevereiro, que apresenta um valor baixo de umidade relativa do ar nesse período, pois os fevereiros de 2010 a 2016 apresentaram valores atípicos para a região, principalmente em 2014, onde a média desse mês para umidade relativa do ar foi de apenas 66%.

A evapotranspiração de referência diária estimada para o município de Juiz de Fora - MG está apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Evaporação de referência do período de 1995 a 2016 para o município de Juiz de Fora - MG.

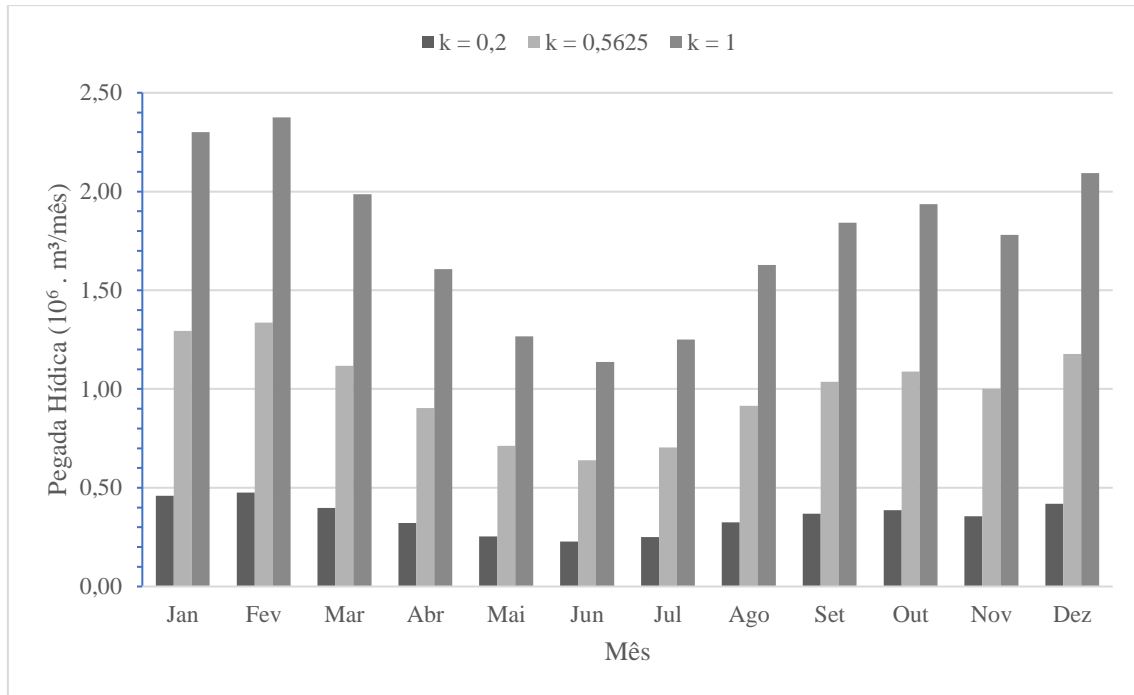


É possível observar que a evaporação de referência apresenta valores decrescentes de janeiro a junho e crescentes de junho a dezembro. Esse comportamento é justificado pelo clima do município. Os meses mais quentes coincidem com os meses mais úmidos favorecendo a evapotranspiração, assim como os meses mais frios coincidem com os meses mais secos ocasionando uma baixa evapotranspiração. Tendo o valor máximo em fevereiro com 5,21 mm de água evaporada por dia, valor mínimo igual a 2,41 mm de água evaporada por dia em junho e um valor médio ao longo do ano de $3,69 \pm 0,87$ mm de água evaporada por dia, sendo a evaporação anual igual a 1347,06 mm.

Carvalho et al. (2015) em seu estudo, encontraram o mesmo padrão sazonal de evapotranspiração para Juiz de Fora e valores muito próximos, sendo seu valor médio igual a $3,32 \pm 0,89$ mm de água evaporada por dia. Bueno (2014) em seu estudo também encontrou um padrão sazonal de evapotranspiração muito semelhante para a Usina Hidroelétrica de Camargos e uma evapotranspiração média de 1246 mm de água evaporada por ano.

Considerando as estimativas de evapotranspiração apresentadas anteriormente e os dados de área dos reservatórios (item 4.1.2), foram realizados cálculos da pegada hídrica azul para as Represas de São Pedro, Doutor João Penido e Chapéu d'Uvas. Na Figura 7 encontram-se os valores estimados para a pegada hídrica azul.

Figura 7 – Pegada hídrica azul das Represas de São Pedro, Doutor João Penido e Chapéu d’Uvas



É possível observar que a pegada hídrica segue o mesmo padrão sazonal que a evapotranspiração de referência, o que era esperado, uma vez que são diretamente proporcionais. Maiores valores de pegada hídrica ocorrem em fevereiro e os menores em junho.

Em fevereiro, com os reservatórios no volume morto, a pegada hídrica é de 475.201 m³/mês. Já na situação das capacidades estarem no nível intermediário ou nível máximo, a pegada hídrica é de 1.336.503 m³/mês ou 2.376.006 m³/mês. Por fevereiro e os meses que o antecedem serem muito chuvosos, a pegada hídrica de fevereiro deve ser muito próxima do valor máximo encontrado, pois os reservatórios tentem a ficar com um grande volume de água armazenado nessa época do ano.

Maio, junho e julho apresentam uma pegada hídrica muito semelhante entre si. A pegada hídrica máxima para o período é de 1.266.303 m³/mês, em maio, e a mínima é de 1.136.461 m³/mês, em junho. O valor médio para o período é de 684.970 m³/mês. Por ser um período mais seco, é mais provável que a pegada hídrica fique entre os valores mínimos e médios, devido ao baixo volume de água armazenado nos reservatórios.

É possível observar na Figura 7 a importância de se utilizar o fator k nos cálculos, a fim de que não se superestime a pegada hídrica nos períodos de seca, quando os reservatórios tendem ficar

com menores volumes de água, diminuindo o espelho d'água que por sua vez diminui a evapotranspiração.

Considerando os reservatórios com volumes constantes ao longo do ano, a pegada hídrica foi calculada para um ano e está apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Pegada hídrica para reservatórios com volumes constantes ao longo no ano

k	0,2	0,5625	1
PH (m³/ano)	4.240.551	11.926.549	21.202.754

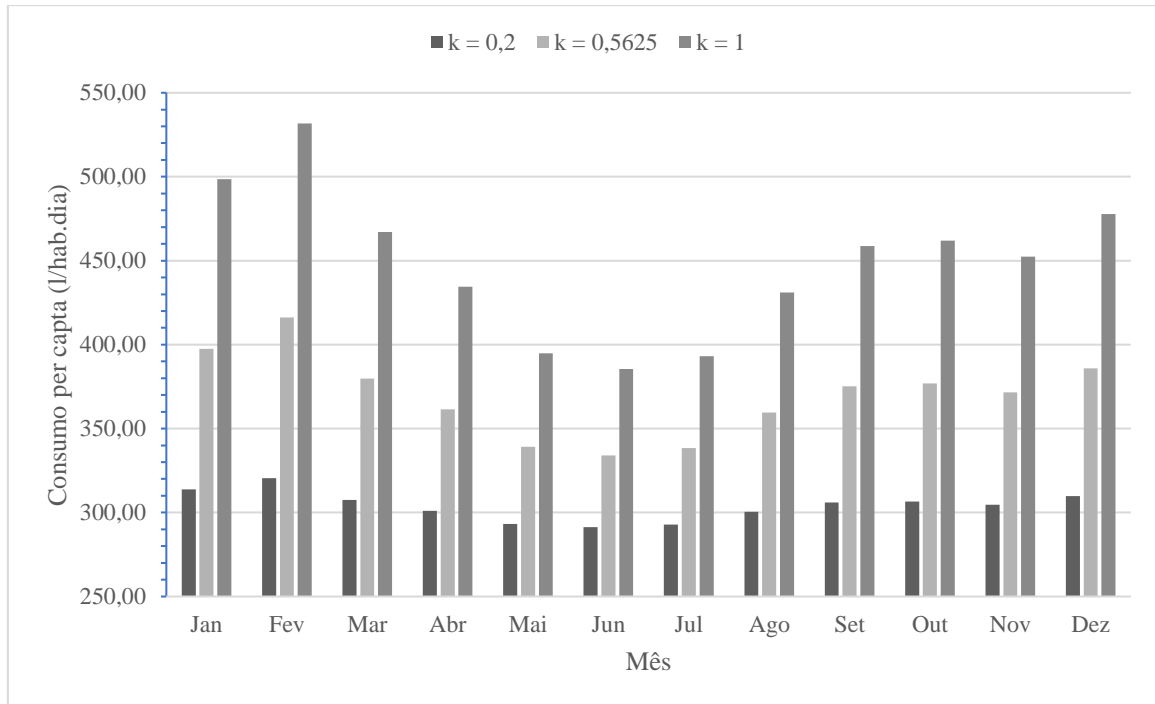
É possível observar no quadro acima que, a perda de água nos três reservatórios estudados, ao longo de um ano, pode chegar a mais de 4 milhões de metros cúbicos, quando os reservatórios estão no volume morto e a mais de 21 milhões de metros cúbicos quando os reservatórios estão totalmente cheios.

Comparativamente, a cidade de Juiz de Fora perde nas redes de distribuição de água tratada, ou seja, nas tubulações que levam água para as casas da população, 8,7 milhões de água por ano (Quadro 2). Considerando a pegada hídrica dos reservatórios, a perda de água na cidade teria um acréscimo de 33%, 58% e 71% para k igual a 0,2, 0,5625 e 1, respectivamente. Considerando a situação intermediária, onde k é igual a 0,5625 Juiz de Fora teria uma perda total de quase 21 milhões de metros cúbicos de água ao ano. Com esse volume de água, seria possível abastecer mais 350 mil habitantes em Juiz de Fora. Já no pior cenário, somente com as perdas de água, seria possível abastecer mais de 500 mil habitantes.

Acrescentando na equação 7 os resultados obtidos no Quadro 4, tem-se o consumo de água per capita da cidade de Juiz de Fora considerando a pegada hídrica dos reservatórios de água da cidade, conforme apresentado na Figura 8.

O consumo de água médio per capita da cidade de Juiz de Fora é de 161,85 l/hab.dia, no cenário onde há menor evaporação dos reservatórios, quando esses estão vazios, o consumo de água per capita da cidade chega aos 321 l/hab.dia. Já no pior cenário, quando todos os reservatórios estão em sua capacidade máxima de armazenamento de água, o consumo per capita da cidade no mês de fevereiro ultrapassa 530 l/hab.dia, sendo 3,3 vezes maior que o consumo médio atual.

Figura 8 - Consumo per capita de água considerando a PH da cidade de Juiz de Fora - MG



Os resultados desse estudo mostram como a pegada hídrica dos reservatórios está relacionada com as condições climáticas da região e com a área do espelho de água.

6. CONCLUSÃO

O município de Juiz de Fora apresenta as maiores temperaturas médias do ano no mês de fevereiro e as menores temperaturas da cidade ocorrem no mês de julho. O período mais seco do município é de julho a outubro.

Como esperado, a evapotranspiração de referência da cidade de Juiz de Fora apresenta maiores valores nos meses mais quentes, devido a maior radiação solar, maiores temperaturas e maior umidade relativa do ar e o contrário ocorre nos meses mais frios, diminuindo a evapotranspiração.

A pegada hídrica é menor quando se considera os reservatórios no volume morto. Nesse cenário, ela não passa de 4,3 milhões de metros cúbicos de água ao ano. Já quando é considerado que os reservatórios estão em sua capacidade máxima, somente no mês de fevereiro, a pegada hídrica ultrapassa 2,3 milhões de metros cúbicos de água.

Considerando somente a pegada hídrica e as perdas de água na distribuição de água tratada, seria possível abastecer mais de 500 mil habitantes em Juiz de Fora.

O consumo per capita da cidade de Juiz de Fora, o valor pode chegar a 530 l.hab.dia quando se considera a pegada hídrica.

Os resultados obtidos através desse estudo mostraram como a pegada hídrica pode ser utilizada como um indicador de consumo de água para um município, mas é importante que se façam outros estudos com informações mais precisas sobre a evaporação dos reservatórios, com medições locais.

7. BIBLIOGRAFIA

ALDAYA, M. M.; MARTÍNEZ-SANTOS, P.; LLAMAS, M. R. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. *Water Resources Management*, v. 24, n. 5, p. 941-958, 2010.

ALLAN, J. A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. *Priorities for water resources all location and management*, v. 13, p. 26, 1993.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ANA - Agência Nacional de Águas. *A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: ANA, 2002.

BARROS, J. C.; BARRETO, F. M. S.; LIMA, M. V. Aplicação do Índice de Qualidade das Águas (IQA-CETESB) no açude Gavião para determinação futura do Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público (IAP). In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palma/Tocantins, 2012.

BORGES, A. C. de; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.

BUENO, E. O. Evaporação do reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos: caracterização da pegada hídrica. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, 82 p., Lavras, MG, 2014.

CARVALHO, D. F.; DA ROCHA, H. S; BONOMO, R.; DE SOUZA, A. P. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 1, p. 1-11, 2015.

CESAMA - Companhia de Saneamento Municipal. Barragem de Chapéu d'Úvas. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/?pagina=chapeu-duvas>>. Acesso em 18 de agosto de 2017e.

CESAMA - Companhia de Saneamento Municipal. Represa de São Pedro. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/?pagina=rsaopedro>>. Acesso em 18 de Agosto de 2017d.

CESAMA - Companhia de Saneamento Municipal. Represa Dr. João Penido. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/?pagina=joaopenido>>. Acesso em 18 de agosto de 2017b.

CESAMA - Companhia de Saneamento Municipal. Ribeirão Espiro Santo. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/?pagina=resanto>>. Acesso em 18 de agosto de 2017c.

CESAMA - Companhia de Saneamento Municipal. Rio Paraibuna. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/?pagina=paraibuna>>. Acesso em 18 de agosto de 2017a.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13, n. 2, p. 303-307, 2005.

GERNAAT, D. E.; BOGAART, P. W.; VAN VUUREN, D. P.; BIEMANS, H.; NIESSINK, R. High-resolution assessment of global technical and economic hydropower potential. *Nature Energy*, v. 2, n. 10, p. 821, 2017.

GLEICK, Peter H. (Ed.). *The world's water volume 8: The biennial report on freshwater resources*. Island Press, 2014.

HOEKSTRA, A. Y. *The water footprint of modern consumer society*. Routledge, 2013.

HOEKSTRA, A. Y. *Virtual water trade: Proceeding of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No 12, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, 2003b.

HOEKSTRA, A. Y. *Virtual water: An introduction*. In: *Virtual water trade: Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade*. Value of water research report series (11). p. 13-23. 2003a.

HOEKSTRA, A. Y., MEKONNEN, M. M. *National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption*, Value of Water Research Report Series Vol. 1, Nº 50. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE, 2011.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. Y.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. *Manual de Avaliação da pegada Hídrica. Estabelecendo o Padrão Global*. Earthscan, 2011.

HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P.Q. *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*, Value of Water Research Report Series No.11, IHE, Delft, the Netherlands, 2002.

HOGEBOOM, R. J.; KNOOK, L.; HOEKSTRA, A. Y. The blue water footprint of the world's artificial reservoirs for hydroelectricity, irrigation, residential and industrial water supply, flood protection, fishing and recreation. *Advances in water resources*, v. 113, p. 285-294, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Juiz de Fora. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>>. Acesso em 18 de Agosto de 2017a.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 25 de abril de 2018.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. *Water in Plant - Evaporation and Environment*, Dallas, v. 19, p. 205-235, 1965.

PERES, J. G. Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1994. 116p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SAAD, A. R.; SEMENSATTO JR, D. L.; AYRES, F. M.; OLIVEIRA, P. E. Índice de Qualidade da Água – IQA do reservatório do Tanque Grande, município de Guarulhos, estado de São Paulo, Brasil: 1990 – 2006. *Revista UnG – Geociências*, v.6, n.1, p.118-133, 2007.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Série Histórica. Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 31 de maio de 2018.

SOARES, D. C. Aspectos limnológicos do córrego São Pedro Juiz de Fora – Minas Gerais. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

SOMLYÓDY, L.; VARIS, O. Freshwater under pressure. *International Review for Environmental Strategies*, v. 6, n. 2, p. 181-204, 2006.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos avançados*, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

ZAFFANI, A. G., BRESSIANI, D. A., Pehovaz-Alvarez, R., & MENDIONDO, E. M. A POLUIÇÃO DA DRENAGEM URBANA RELACIONADA COM A PEGADA HÍDRICA

CINZA: caso da cidade de São Carlos, SP. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, Alagoas, 2011.