

SOLUÇÕES URBANAS SUSTENTÁVEIS: AVALIAÇÃO INTEGRADA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA E TRATAMENTO DE ESGOTO A PARTIR DE GRADIENTES DE DENSIDADE

SUSTAINABLE URBAN SOLUTIONS: INTEGRATED ASSESSMENT OF WATER SUPPLY AND SEWAGE TREATMENT FROM DENSITY GRADIENTS.

ALLINE GOMES LAMENHA E SILVA, M.Sc. | UFRGS

MÁRCIA DE MORAIS STEIN | UFRGS

DANIELA TATSCH BAPTISTA | UFRGS

MIGUEL ALOYSIO SATTLER, PhD. | UFRGS

RESUMO

Com o crescimento urbano, torna-se necessário definir as formas de atendimento às necessidades humanas por água, em qualidade e quantidade adequadas. O presente artigo busca identificar como o conceito de gradientes de densidades populacionais pode contribuir na definição de soluções mais sustentáveis, tanto para o suprimento de água, como para o tratamento de esgoto, na escala de pequenas municipalidades. Partiu-se da definição de áreas estratégicas, em termos de sustentabilidade, buscando-se determinar, com base em dados disponibilizados gratuitamente, incluindo: a densidade urbana do município de Feliz/RS; bem como a distribuição espacial do abastecimento de água e da destinação dos efluentes domésticos. A partir desse diagnóstico, que considera as particularidades do município, foram propostas soluções alternativas e descentralizadas para as áreas avaliadas. Os resultados mostram que a avaliação integrada e espacial pode conduzir a soluções mais sustentáveis, que envolvam e empoderem a comunidade local, quanto ao uso e cuidado com a água e como potencial de suporte à tomada de decisão.

PALAVRAS-CHAVE: Densidades Populacionais; Abastecimento de Água; Efluentes Domésticos; Sustentabilidade Urbana

ABSTRACT

As cities grow, it becomes necessary to define ways of meeting the human needs for water in adequate quality and quantity. In this article, it was identified how population densities gradients can contribute to the definition of sustainable solutions, for water supply and sewage treatment in small municipalities. Strategic areas were defined, in terms of sustainability, seeking to determine, based on free and publicly available data, the urban density of the municipality of Feliz/RS; the spatial distribution of water supply and solutions for domestic effluents. Based on this diagnosis, which considers the particularities of the municipality, alternative and decentralized solutions were proposed for the assessed areas. The results show that the integrated and spatial assessment can lead to more sustainable solutions, which involve and empower the local community, with regard to the use and care with water, in addition to supporting decision making.

KEYWORDS: Population Densities; Water supply; Domestic Effluents; Urban Sustainability



1. INTRODUÇÃO

No debate sobre as necessidades urbanas, a água é um fator central: seja no âmbito do abastecimento de água potável ou da destinação dos efluentes domésticos, as decisões tomadas precisam refletir as particularidades de cada região, de maneira a atender as demandas, sem promover um desequilíbrio que coloque em risco a qualidade do ambiente.

Ao considerar a cidade um ecossistema vivo, é possível adotar estratégias que considerem os recursos hídricos de forma holística. A ação antrópica pode, assim, se constituir em uma catalisadora de processos positivos junto ao meio ambiente.

Neste contexto, conhecer com mais profundidade as necessidades de cada cidade é fundamental, na definição de seus pontos de vulnerabilidade e para a proposição de estratégias mais sustentáveis. Poder-se-á, desta maneira, contribuir para que os recursos naturais permaneçam disponíveis às gerações futuras e que a vida urbana possa se harmonizar com os sistemas naturais.

Esse entendimento holístico vem fundamentando diversos estudos, que propõem diferentes metodologias para a gestão das águas nas cidades, sob uma ótica mais sustentável e, conseqüentemente, mais eficiente (ARDEN; MA; BROWN, 2019; KIRSHEN et al., 2018; SERRAO-NEUMANN et al., 2019).

As soluções de infraestrutura urbana convencionais, entretanto, geralmente envolvem sistemas centralizados, que nem sempre resolvem adequadamente os problemas locais. A proposição de soluções eficientes deve considerar como as comunidades podem trabalhar de forma harmônica com a natureza, criando uma infraestrutura que trabalhe sinergicamente com os processos e sistemas naturais.

O planejamento urbano que leva em consideração as necessidades de infraestrutura específicas de cada local e a disponibilidade de recursos financeiros, humanos, materiais e territoriais, tende a apresentar soluções mais efetivas, ao envolver a comunidade e gerar empregos localmente. Conforme explicita Bettencourt (2015), é preciso destacar a diferença entre a implementação de uma solução padrão e a concepção de um plano que seja, ao mesmo tempo, mais útil para o serviço à comunidade e realizável, em termos de aquisição.

Para equacionar essa questão, é importante destacar que o lugar e a forma com que as cidades crescem e se estabelecem se mostram cruciais no processo de proteção das bacias hidrográficas – as densidades urbanas podem ser tomadas, dessa forma, como estratégias para o estabelecimento de soluções mais eficientes e sustentáveis (FARR, 2013).

As densidades populacionais podem conduzir a práticas urbanas mais sustentáveis, uma vez que estão diretamente associadas a questões como: o uso e ocupação do solo; a produção de alimentos e a acessibilidade aos serviços. O acesso à água limpa e a destinação adequada dos efluentes domésticos, destacam-se como necessidades humanas fundamentais, cujo atendimento revela-se um desafio urbano, diante de padrões de vida que repercutem além dos limites da cidade (NEWMAN E JENNINGS, 2008).

Farr (2013) considera a densidade como a “*silver bullet*” da sustentabilidade, já que permite reduções quanto ao uso de recursos *per capita*, fornecendo benefícios locais, regionais e globais. Destaca, ainda, indicativos de que a premissa da baixa densidade, como fator de proteção aos recursos hídricos, pode estar equivocada, uma vez que densidades mais altas consomem menos solo, per capita, ao acomodar o mesmo número de pessoas, criando, assim, menos coberturas impermeáveis.

Alexander et al. (1977) também conduzem a discussão da gestão urbana, à luz das densidades das cidades, sugerindo que aumentem, com a proximidade ao seu centro comercial, a partir de gradientes de densidade estáveis, que mesclam, de maneira espacial, o acesso aos serviços e conveniências das regiões mais densamente povoadas, à calmaria típica das regiões menos densas.

Evidencia-se, dessa forma, a relação entre as densidades populacionais e as alternativas adotadas para o abastecimento de água e esgotamento sanitário, conduzindo a soluções mais ou menos centralizadas.

Libralato et al. (2012) destacam que a descentralização possibilita a redução da proporção da população sem acesso sustentável à água potável e ao esgotamento sanitário, ao passo que reverte a perda de recursos ambientais. Aumentar a acessibilidade ao saneamento não implica, necessariamente, na exploração excessiva dos recursos existentes, mas em melhorar sua gestão de redução, reciclagem e reutilização, além de identificar novas fontes de água, como águas pluviais e águas residuais recuperadas.

Em termos de custo, a vantagem comparativa de modelos descentralizados de gerenciamento de águas residuais varia com o *layout* e o grau de descentralização: quando configurada estrategicamente, a descentralização pode tornar-se uma alternativa competitiva (JUNG et al., 2018).

No campo das propostas supracitadas, Tonetti et al. (2018) orientam que as tecnologias relacionadas ao saneamento se voltem à melhoria das condições de saúde e higiene das comunidades, por meio de técnicas de baixo custo, que, além de ambientalmente sustentáveis, considerem a cultura e os conhecimentos locais. As propostas

apresentadas pelos autores, como alternativas de tratamento de esgoto doméstico, objetivam auxiliar moradores, gestores públicos e técnicos na tomada de decisão.

Apesar de, em geral, consideradas como inferiores a outras soluções disponíveis para os grandes centros urbanos, e tidas, muitas vezes, como sinônimos de precariedade e subdesenvolvimento, as soluções descentralizadas podem ser, considerando o contexto social e técnico, alternativas mais adequadas (TONETTI et al., 2018).

Soluções descentralizadas podem ser consideradas confiáveis e de longo prazo para pequenas comunidades e, geralmente, mais econômicas para o gerenciamento de águas residuais, em áreas rurais, do que os sistemas centralizados (MASSOUD et al, 2009).

Além disso, podem representar alternativas eficientes, uma vez que consomem menos energia. Por meio de respostas locais para a demanda por infraestrutura, é possível oferecer soluções mais efetivas, além de diminuir a pegada ecológica, ao depender menos de recursos e sistemas distantes.

Embora direcionadas, em geral, às comunidades isoladas, essas soluções podem ser implementadas com sucesso em núcleos urbanos de pequenas municipalidades, de maneira a introduzir, ainda em sua fase inicial de expansão, soluções mais sustentáveis e que envolvam a comunidade local.

Dessa forma, a integração entre a maneira como a comunidade ocupa o espaço urbano e as soluções adotadas para o abastecimento de água e tratamento de esgoto, podem representar uma ferramenta importante no direcionamento do crescimento da cidade em direção à sustentabilidade.

O presente artigo tem como objetivo descrever alternativas para o suprimento de água e tratamento de esgotos de uma pequena municipalidade, empregando o conceito de gradientes de densidade populacional. Como contribuições do estudo, resultaram propostas de estratégias sustentáveis, associadas à preservação do solo e da bacia hidrográfica, sempre considerando a realidade local.

2. METODOLOGIA

Para a análise, foram utilizadas ferramentas da geostatística e um sistema de informações georreferenciadas, de maneira a potencializar as análises propostas por Alexander et al. (1977), em seu Padrão 29 (Anéis de Densidade), e construir um diagnóstico especializado das soluções adotadas para o abastecimento de água e esgotamento sanitário, buscando conceber uma metodologia orientadora da sustentabilidade na concepção da cidade.

Os procedimentos metodológicos encontram-se descritos a seguir.

2.1 Área de Estudo

Como estudo de caso, foi tomado o município de Feliz/RS. O município situa-se a cerca de 80 km da capital, possui uma população de 12.359 habitantes e ocupa uma área de 95,371 km² (IBGE, 2010). A localidade possui baixa densidade habitacional e é rica em recursos naturais e culturais, conformando uma próspera região do estado do Rio Grande do Sul. O mapa de localização pode ser observado na Figura 1:



Figura 1 - Localização do município de Feliz/RS
Fonte: elaborado pelas autoras

Devido ao elevado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e aos bons resultados apresentados pelo Indicador Social de Desenvolvimento dos Municípios (ISDM), o município vem sendo estudado pelo grupo de pesquisadores de Edificações e Comunidades Sustentáveis, do NORIE, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Os projetos desenvolvidos, de pesquisa, ensino e extensão, abordam as questões de sustentabilidade em suas vertentes social, econômica, ecológica, geográfica e cultural, buscando incorporá-las na proposição de soluções, tanto na escala da edificação, quanto na de comunidades (SATTLE, 2007).

O foco adotado, no desenvolvimento de pesquisas e propostas para a região, conforma um vasto banco de dados, que podem apoiar outros estudos e orientar a aplicação, a outras pequenas municipalidades, de diretrizes de desenvolvimento mais sustentável.

2.2 Centro e Gradientes de Densidade

O centro médio de uma região pode ser associado à média das coordenadas correspondentes a cada atributo considerado. A concentração habitacional, entretanto, pode levar a um centro ponderado, que considera o ponto mais representativo do núcleo urbano, em termos de densidade populacional, expressa pela Equação (1):

$$\bar{X}_w = \frac{\sum_i^n x_i w_i}{\sum_i^n w_i}; \bar{Y}_w = \frac{\sum_i^n y_i w_i}{\sum_i^n w_i} \quad (1)$$

Sendo $x_{(i)}$ e $y_{(i)}$, as coordenadas da unidade de informação (o setor, por município); e $w_{(i)}$, o atributo ponderador (as densidades populacionais).

Para a medição do grau em que as densidades estão concentradas ou dispersas em torno do centro médio ponderado, foi avaliada a distribuição direcional das concentrações, a partir da elaboração de elipses de desvio padrão. O padrão proposto por Alexander et al. (1977) indica que, partindo da região central de maior densidade, envolvida por um círculo de raio R (ou semicírculo, considerado o padrão de núcleos excêntricos dos autores), os três anéis de densidades gradativas possuem raios equivalentes médios iguais a $R/6$, $3R/6$ e $5R/6$. Dessa maneira, propõe-se uma adaptação dessa abordagem aos aspectos explorados, por meio de elipses de distribuição direcional, com base no sistema de informações geográficas, como ilustrado na Figura 2.

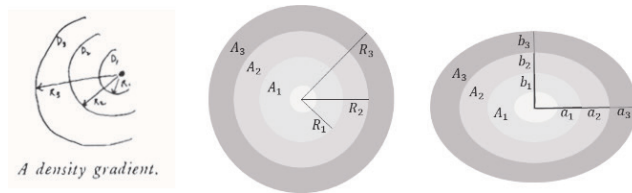


Figura 2 - Adaptação do padrão “Anéis de Densidade”, considerando as elipses de distribuição direcional.
Fonte: elaborado pelas autoras, adaptado de Alexander et al. (1977).

Tomou-se, como ponto central, o centro médio ponderado pelas densidades populacionais, quantificadas e espacializadas a partir dos setores censitários. A direcionalidade observada no crescimento do município foi considerada, adotando-se uma elipse de distribuição direcional de um desvio padrão, como delimitadora do anel externo. Os anéis elípticos foram traçados mantendo-se as proporções propostas por Alexander et al. (1977), porém preservando-se as excentricidades das elipses decorrentes da tendência de ocupação, conforme cada aspecto sendo investigado.

2.3 Indicadores de Abastecimento de Água e Tratamento de Esgotos

A fim de avaliar as soluções adotadas no município de Feliz/RS, no tocante a abastecimento de água e esgotamento sanitário, foram obtidos seus respectivos índices, tendo como referência os dados levantados no censo realizado pelo IBGE (2010), que foram espacializados de acordo com os setores censitários. Os dados básicos utilizados, para a elaboração dos índices e confecção dos mapas gráficos, estão acessíveis na planilha “Domicílio01_RS”,

disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. As variáveis utilizadas no presente estudo são apresentadas na Tabela 1.

Descrição	Variável
Domicílios particulares permanentes.	Var002
Abastecimento de água, a partir da rede geral.	Var012
Abastecimento de água, com origem em poço ou nascente na propriedade.	Var013
Abastecimento contando com coleta pluvial e armazenamento em cisterna.	Var014
Outra forma de abastecimento de água	Var015
Esgotamento sanitário, via rede de coleta esgotos ou pluvial.	Var017
Esgotamento sanitário, com emprego de fossa séptica.	Var018
Esgotamento sanitário, com emprego de fossa rudimentar.	Var019
Esgotamento sanitário, via coleta em vala.	Var020
Esgotamento sanitário, via lançamento em rio, lago ou mar	Var021
Esgotamento sanitário via outro escoadouro.	Var022

Tabela 1 - Variáveis utilizadas para avaliação do abastecimento de água e esgotamento sanitário
Fonte: elaborado pelas autoras com dados do IBGE (2010)

O Índice de Abastecimento de Água identifica a proporção dos domicílios particulares permanentes, que são abastecidos pela rede de água, por poços e nascentes ou por água da chuva, sendo obtido por meio da Equação 2:

$$IAA = \frac{VAR012+VAR013+VAR014}{VAR002} \quad (2)$$

O Índice de Esgotamento Sanitário identifica a proporção de domicílios que destinam seus efluentes domésticos a fossas sépticas, que sejam consideradas seguras no presente contexto, desde que resultantes de implantação correta e contando com manutenção adequada. Seu cálculo foi realizado conforme a Equação 3:

$$IES = \frac{VAR018}{VAR002} \quad (3)$$

As demais soluções foram computadas, considerando sua totalidade no município, de maneira a fornecer um diagnóstico e revelar potenciais soluções inexploradas e que possibilitem a tomada de decisão direcionadas à sustentabilidade.

2.4 Soluções Propostas

As propostas de intervenção consideraram a variável densidade e os conceitos de sustentabilidade, procurando a

aplicação de soluções otimizadas e adequadas a cada contexto. Neste sentido, sempre a comunidade é envolvida no processo, de modo a buscar a alternativa que melhor responda às suas necessidades e à realidade específica do lugar.

É importante ressaltar que nunca há o intuito de apresentar soluções únicas, definitivas ou aplicáveis a qualquer situação, mas soluções simples de sistemas unifamiliares ou semicoletivos, aplicáveis localmente e que sejam de baixo custo, para que, inclusive, possam servir como diretrizes para intervenções públicas ou privadas.

As tecnologias sugeridas, e que são específicas para cada lugar, buscam a melhoria da qualidade da água, com a redução da poluição e a preservação da vida e da diversidade. Sua aplicação é direcionada à área urbana da municipalidade específica em análise e seu entorno.

Não serão abordadas alternativas de grande porte, tais como as tradicionalmente utilizadas em projetos de estações de tratamento de grandes proporções, tanto de água,

como de esgoto, usualmente complexas de instalar e operar, em adição aos seus altos custos de implantação, e normalmente requerendo a participação do poder público.

3. RESULTADOS

3.1 Centros e Gradientes de Densidade

É possível observar, na Figura 3: as densidades populacionais, em distintos setores censitários da municipalidade; o centro médio geométrico; o centro médio ponderado pela densidade; a elipse resultante da distribuição direcional das distintas densidades populacionais; e os anéis indicativos dos gradientes de densidades populacionais.

Esses elementos constituem a base para a avaliação da ocupação da área de estudo, constituindo-se, em um dos fatores a serem considerados para a proposição de soluções integradas para o abastecimento de água e tratamento de efluentes na municipalidade.

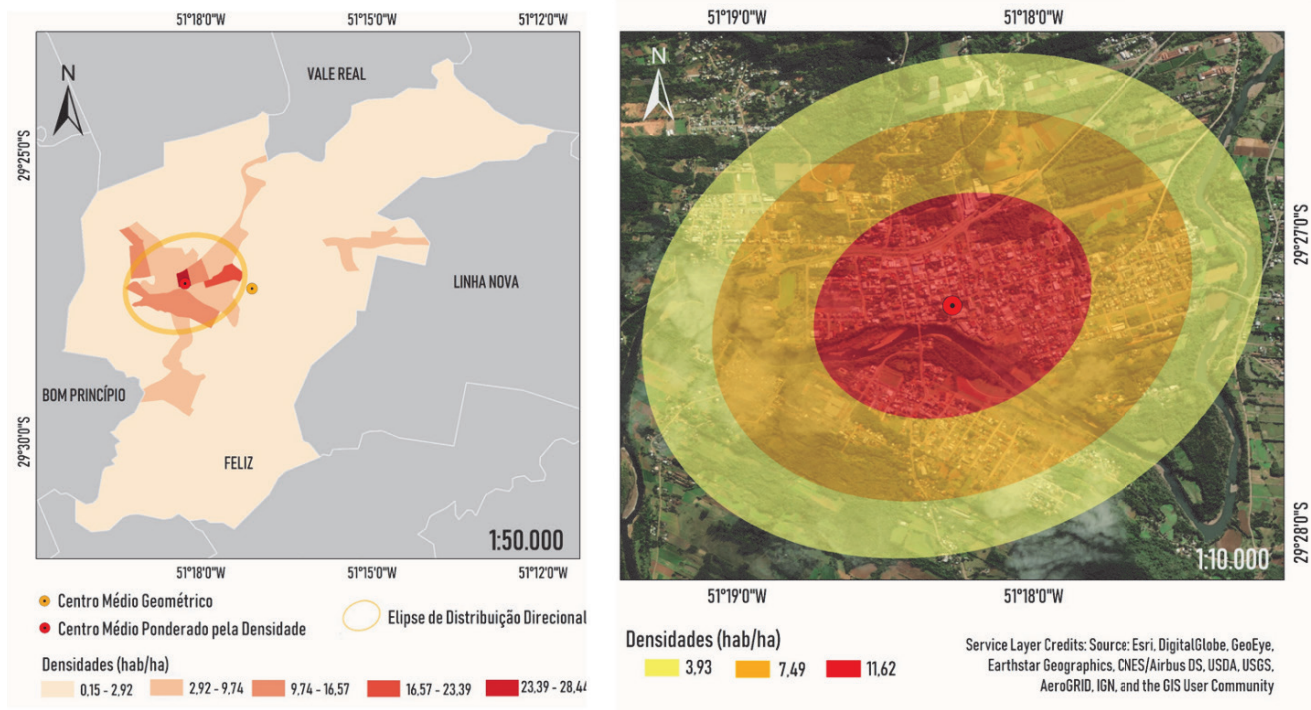


Figura 3 - Avaliação das densidades populacionais (à esquerda) e anéis de densidade populacional (à direita), em Feliz (RS).
Fonte: elaborado pelas autoras com dados do IBGE (2010)

A caracterização de densidades, por setores censitários, permite inferir que a ocupação do município apresenta um núcleo (elíptico) central, facilmente caracterizável, no qual está posicionado um centro médio, resultante da ponderação das distintas densidades populacionais. Esse cenário alinha-se ao exposto por Alexander et al. (1977), no que concerne ao estabelecimento de densidades locais, a partir de um ponto de máxima densidade. Os autores

acrescentam, ainda, que tais densidades locais influenciam, tanto a forma, como as comunidades que ocupam tais áreas, no tocante ao perfil cultural dos seus habitantes.

No estudo realizado na municipalidade de Feliz, observou-se uma significativa ocupação de maior densidade em áreas localizadas a oeste do centro médio ponderado pela densidade, ocupação essa ocorrendo em direção oposta ao centro médio geométrico do município.

Além da topografia da área e da proximidade com o rio Caí, essa ocupação ocorreu, principalmente em direção aos municípios vizinhos de Bom Princípio, a oeste, e Vale Real, a norte. Entre os núcleos principais dos municípios de Feliz e Linha Nova, é observado um núcleo secundário, com densidade superior que a das áreas no seu entorno, chegando a alcançar uma densidade de 4,0 hab/ha, cerca de 17 vezes superior à média dos setores vizinhos.

Apesar de não estar inserida na elipse de distribuição direcional de densidades, para o traçado das quais foi adotado um espaçamento de um desvio padrão, essa área externa às elipses exerce uma observável influência sobre a direcionalidade da distribuição de densidade.

A elipse de distribuição direcional identifica o padrão de densidades localmente ocorrente, em termos de

centralidade, dispersão e tendência direcional, tendo sido adotada para localizar o anel externo de densidade.

Os gradientes de densidade observados reforçam a relação entre a comunidade e seus recursos hídricos, uma vez que a ocupação no município foi orientada pela localização do rio Caí, que exerce perceptível centralidade, em termos de concentração, na distribuição das densidades. Esta constatação reforça a necessidade de aprofundamento da compreensão dos impactos diretos das mútuas e múltiplas interações que se estabeleceram entre o rio e a cidade.

3.2 Abastecimento de Água

A avaliação das soluções adotadas para o abastecimento de água na municipalidade de Feliz está indicada na Figura 4.

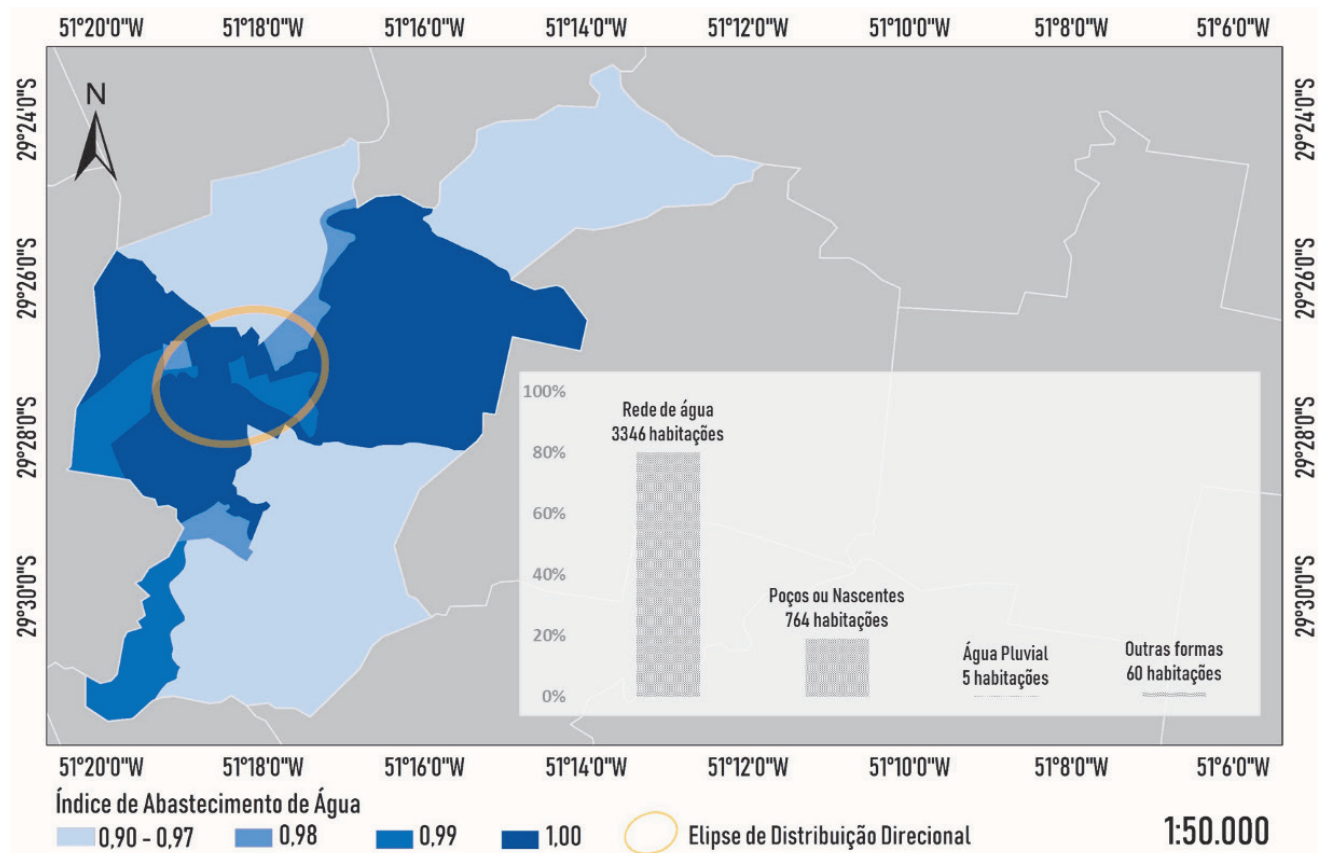


Figura 4 - Índice de Abastecimento de Água e soluções de abastecimento de água adotadas no município de Feliz/RS.
Fonte: elaborado pelos autores, a partir de dados do IBGE (2010).

O abastecimento é realizado, predominantemente, via rede de abastecimento de água, cujo suprimento ocorre, de acordo com a Agência Nacional de Águas (2007), a partir de um conjunto de 10 poços, com tratamento simplificado.

A segunda forma de abastecimento mais relevante ocorre individualmente, a partir de poços ou nascentes. Esta forma de acesso à água, em adição à anterior,

demonstra a grande dependência do município de seu aquífero subterrâneo e reafirma a necessidade de proteção dos recursos hídricos, a nível de bacia hidrográfica.

É importante ressaltar, ainda, que o uso de poços ou nascentes para o abastecimento de água, de forma autônoma, requer o monitoramento da qualidade da água, de forma periódica, para a garantia da adequabilidade de seu consumo.

Merece destaque o fato de o abastecimento com o emprego de águas pluviais ser adotado apenas por 5 habitações, em todo o município. Destaca-se que as precipitações mensais médias variam: de 80,8 mm, em maio; a 156,6 mm, em janeiro, conforme dados da Estação 02951014, situada em Feliz (dados referentes ao período de 1950 a 1978); e de 120,4 mm, em abril, a 169,1 mm, em julho, na Estação 02951027, de São Vendelino (dados referentes ao período de 1970 a 2019). A variação da precipitação média mensal pode ser observada na Figura 5.

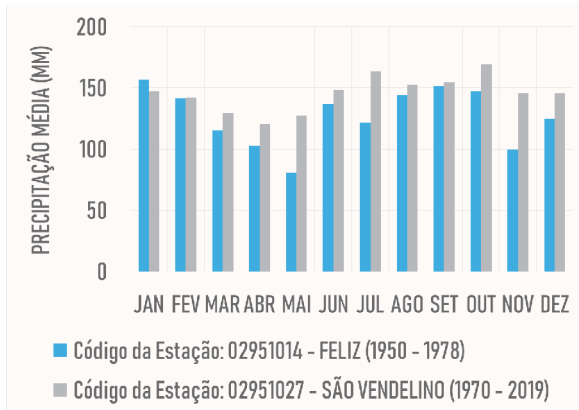


Figura 5 - Precipitações registradas na região de Feliz (RS)
Fonte: elaborado pelas autoras, com base em dados de estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (2019)

O aproveitamento da água da chuva constitui uma fonte potencial relevante de abastecimento de água, no sentido de complementar o atendimento às necessidades do município. Essa alternativa poderia ser explorada, tanto a nível individual, nas regiões de menor densidade, quanto para complementar ou parcialmente substituir o suprimento de água realizado pelos sistemas locais coletivos, nas regiões mais densificadas.

O cuidado com a água envolve, também, ações mais abrangentes, que estão relacionadas diretamente à qualidade das águas do lençol freático, que, em última instância, são as que abastecem o município. Algumas técnicas de baixo impacto ambiental poderiam contribuir para a proteção das águas, na escala do município, uma vez aplicadas na bacia hidrográfica. É importante pontuar, também, os riscos associados ao uso agrícola da terra, a nível regional, considerando a correlação direta existente entre o tipo de agricultura praticado (com ou sem o uso de agrotóxicos) e a qualidade da água suprida à população.

3.3 Tratamento de Esgotos

A situação que, entretanto, requer maior atenção, no contexto avaliado, está associada às soluções adotadas para os efluentes domésticos, conforme ilustra o Índice de Esgotamento Sanitário, na Figura 6.

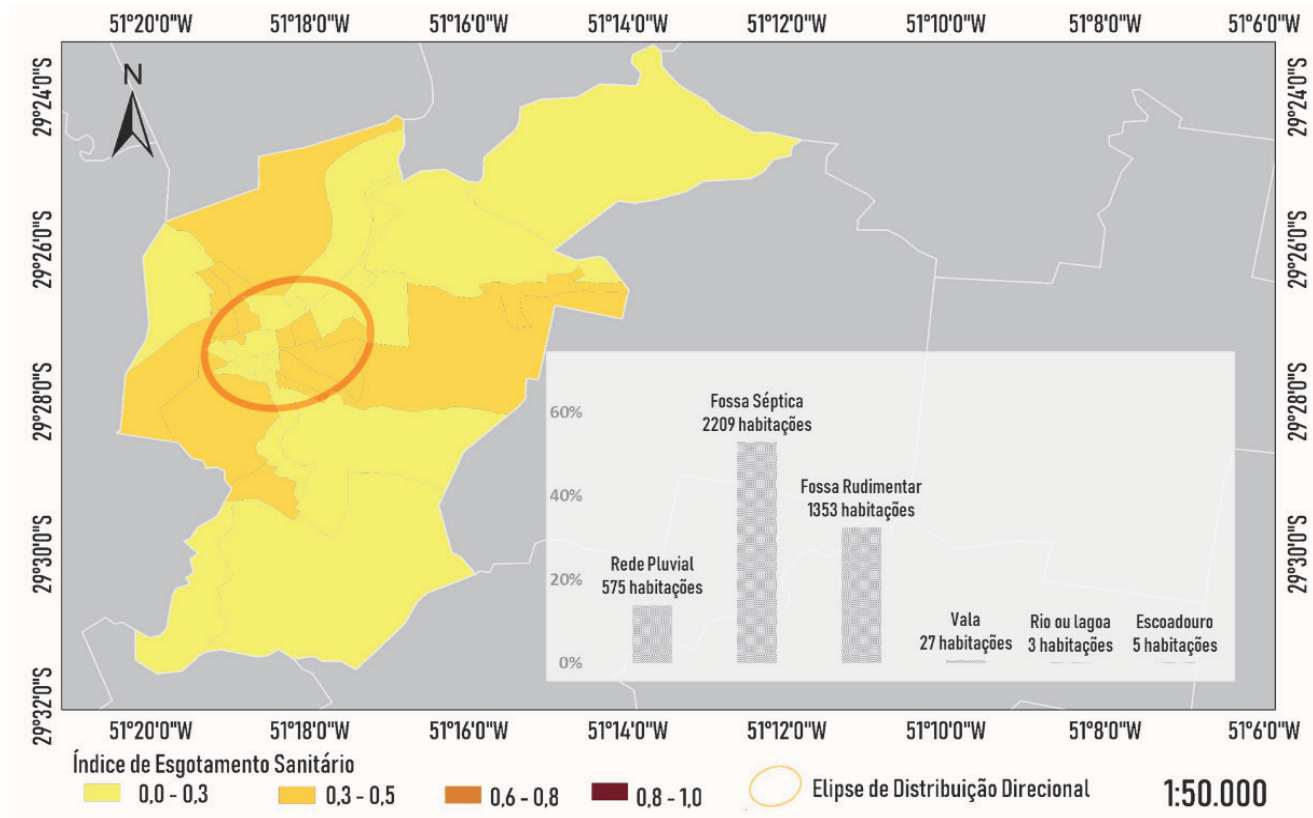


Figura 6 - Índice de Esgotamento Sanitário e soluções para o esgotamento sanitário no município de Feliz/RS.
Fonte: elaborado pelos autores com dados do IBGE (2010)

Apesar de a maior parte das habitações contarem com fossas sépticas para o esgotamento sanitário, o que se constitui em solução relativamente segura, a ligação à rede pluvial e o uso de fossas rudimentares é expressivo.

Verifica-se que regiões próximas do rio Caí apresentaram soluções com risco de contaminação por carga orgânica às águas e ao solo da região.

Diante deste quadro, foram pesquisadas soluções, que poderiam complementar os sistemas já utilizados para o esgotamento sanitário doméstico, como alternativas às soluções inadequadas e que colocam em risco a segurança da comunidade e a qualidade do meio ambiente.

Na busca por possíveis alternativas, foram identificadas as propostas de Tonetti et al. (2018) e Ercole (2003). Tais propostas se destacam pelas seguintes características: a área necessária para a implantação; o custo de implantação; a facilidade de manutenção e sua periodicidade.

Quanto à operação de tais dos sistemas, são requeridas: a remoção de matéria orgânica e a remoção de lodo. Uma vez selecionados tais sistemas, eles podem ser combinados de forma a atender às particulares necessidades e características de tratamento dos efluentes de distintas origens.

Tecnicamente e ambientalmente, ambos sistemas de tratamento atendem a propósitos e conduzem a resultados diferenciados, quando comparados às soluções tradicionais.

Os tratamentos convencionais, de grande escala (centralizados), requerem altos investimentos e usualmente são vistos como os mais adequados, por grande parte das pessoas. No entanto, é preciso reconhecer que os resultados científicos já indicam que os sistemas alternativos (descentralizados) são capazes de tratar o esgoto de forma tão ou mais eficaz (ERCOLE, 2003; JUNG et al., 2018; TONETTI et al., 2018)

Esses sistemas alternativos tratam o efluente, deixando-o apto para retornar ao ciclo natural, em adição ao fato de nutrirem o solo e contribuírem para o sadio desenvolvimento da vegetação existente. Em um novo paradigma de urbanismo, é possível imaginar tais sistemas fertilizando áreas verdes urbanas de diferentes escalas.

Além de sua possível implementação nos grandes centros urbanos, essas opções não convencionais são igualmente ou até mais compatíveis na escala das pequenas municipalidades, tendo em vista requerer: reduzido investimento; imediata condição de utilização; facilidade de adaptação à densidade populacional existente; e viabilidade de reutilização dos nutrientes presentes no esgoto, junto à sua origem.

O aproveitamento do potencial oferecido por dejetos bem encaminhados, resgatando costumes ancestrais de implementar sistemas naturais, aplicando-os com base em uma visão holística, permite tirar proveito deste recurso continuamente gerado em nosso cotidiano. Alexander et al. (1977) consideram este entendimento como presente entre fazendeiros chineses, que disponibilizam banheiros secos à beira das estradas, como um convite aos transeuntes a presentear-los com um apreciado fertilizante. O que se pode perceber, diante de tais procedimentos, é tratar este tema, não como um empecilho, mas reconhecer e tirar proveito dos recursos disponibilizados gratuitamente pela natureza; ao proceder de forma contrária, estaremos desperdiçando a nossa capacidade de compreender e agir com que a natureza nos contemplou.

Além das diversas vantagens resultantes da implantação de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto, é fundamental enfatizar a importância e as consequências destes pequenos passos em direção à autonomia. Assim como os integrantes de uma família podem ser capacitados a aproveitar os potenciais nutrientes por eles próprios gerados, por meio de sua incorporação ao solo, ao se organizar para tal, uma comunidade pode se unir para se beneficiar com a implementação de um sistema de tal natureza. E, certamente, estas ações de autonomia naturalmente podem reverberar para outros aspectos de cuidado com o entorno onde se habita.

Na Figura 7, são identificadas diferentes soluções de tratamento de resíduos líquidos domiciliares, na escala local, bem como um comparativo as áreas requeridas e os custos associados a cada solução (referentes a um sistema que atenda a até 5 pessoas).


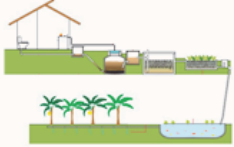
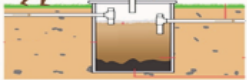
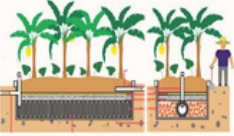

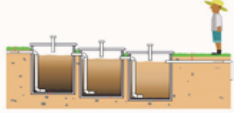
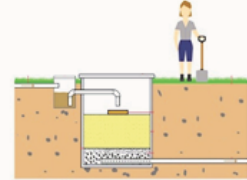

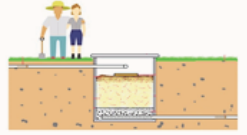
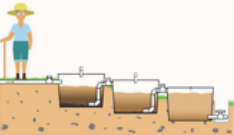

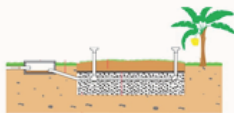

SISTEMA DE TRATAMENTO			
SOLUÇÃO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	SOLUÇÃO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
1. Círculo de Bananeiras 	Área necessária: 3 a 5m ² Custo: Até R\$ 500,00 Remoção da matéria orgânica: Não Manutenção: 2 a 4 X/ano Remoção de Lodo: Não	8. Biosistema Integrado 	Área necessária: 25 a 100 m ² Custo: R\$1.500,00 a R\$2.500,00 Remoção da matéria orgânica: Alta = 80% ou mais Manutenção: 5 ou mais X/ano Remoção de Lodo: Sim
2. Tanque ou Fossa Séptica conforme 	Área necessária: 1,5 a 4 m ² Custo: R\$ 500,00 a R\$1.500,00 Remoção da matéria orgânica: Média = 50 a 79% Manutenção: 1 X/ano Remoção de Lodo: Sim	9. Fossa Verde 	Área necessária: 7 a 10 m ² Custo: R\$1.500,00 a R\$2.500,00 Remoção da matéria orgânica: Alta = 80% ou mais Manutenção: 1 X/ano Remoção de Lodo: Talvez
3. Filtro Anaeróbico 	Área necessária: 1,5 a 4 m ² Custo: R\$ 500,00 a R\$ 1.500,00 Remoção da matéria orgânica: Média = 50 a 79% Manutenção: 1 X/ano Remoção de Lodo: Sim	10. Reator Anaeróbico 	Área necessária: 3 a 8 m ² Custo: R\$1.500,00 a R\$2.500,00 Remoção da matéria orgânica: Média = 50 a 79% Manutenção: 1 X/ano Remoção de Lodo: Sim
4. Filtro de Areia 	Área necessária: 2 a 5 m ² Custo: R\$ 500,00 a R\$1.500,00 Remoção da matéria orgânica: Alta = 80% ou mais Manutenção: 5 ou mais X/ano Remoção de Lodo: Não	11. SAC - Sistemas Alagados Construídos 	Área necessária: 7,5 a 15 m ² Custo: R\$1.500,00 a R\$2.500,00 Remoção da matéria orgânica: Alta = 80% ou mais Manutenção: 2 a 4 X/ano Remoção de Lodo: Não
5. Vermifiltro 	Área necessária: 2 a 5 m ² Custo: até R\$ 500,00 Remoção da matéria orgânica: Média = 50 a 79% Manutenção: 5 ou mais X/ano Remoção de Lodo: Sim (Humus)	12. Fossa Séptica Biodigestora 	Área necessária: 10 a 12 m ² Custo: R\$1.500,00 a R\$2.500,00 Remoção da matéria orgânica: Média = 50 a 79% Manutenção: 5 ou mais X/ano Remoção de Lodo: Não
6. Sistema Modular com Separação das Águas e LETI 	Área necessária: 10 m ² Custo: até R\$ 400,00 Remoção da matéria orgânica: Alta = Até 98% Manutenção: 10 anos Remoção de Lodo: Sim (Humus)	13. Vala de Infiltração conforme NBR 	Área necessária: 7,5 a 15 m ² Custo: R\$1.500,00 a R\$2.500,00 Remoção da matéria orgânica: Alta = 80% ou mais Manutenção: 2 a 4 X/ano Remoção de Lodo: Não
7. Reator anaeróbico de Fluxo Ascendente RAF 	Área necessária: 1,5 a 5 m ² Custo: R\$1.500,00 a R\$2.500,00 Remoção da matéria orgânica: Média = 50 a 79% Manutenção: 2 a 4 X/ano Remoção de Lodo: Sim	** Observações: 1. Área e custo calculadas para um sistema que atende até 5 pessoas. Em sistemas coletivos, multiplicar pelo número de residências de 5 pessoas. 2. Todos os esgotos provenientes de cozinha, deverão passar primeiramente por caixa de gordura.	

Figura 7 - Possíveis alternativas de tratamento, para fins de esgotamento sanitário.
 Fonte: elaborado pelas autoras, adaptado de Tonetti et al. (2018) e Ercole (2003)

As soluções supracitadas foram classificadas em dois grupos principais, podendo os diferentes sistemas serem aplicados para uso unifamiliar ou em sistemas coletivos ou semi-coletivos. Na Figura 8 são apresentados, dentro

de um panorama mais amplo, e até o limite das zonas que caracterizam o gradiente de densidades populacionais da cidade de Feliz, diversos sistemas de gestão de resíduos líquidos passíveis de emprego.



Figura 8 - Soluções para esgotamento sanitário, com base na densidade, para o município de Feliz/RS. Fonte: elaborado pelas autoras

No setor contornado pela Elipse 1, que identifica o centro urbano da cidade de Feliz e caracteriza a área de maior densidade do município, foi identificado um menor número de áreas verdes relativamente à área construída. Como resultado da análise realizada, é proposta a utilização de um sistema de esgoto coletivo ou semicoletivo, que poderia ser implementado a partir da divisão de custos entre as moradias, que assumiriam a sua manutenção, de forma autônoma.

No segundo setor, limitado pela Elipse 2, identifica-se uma área de transição entre o miolo urbano e a área rural, que poderia ser denominado de rururbano, onde são identificados aglomerados de moradias. Para esta região é sugerida a mesma solução indicada para a Elipse 1, ou seja, também a implementação de tratamentos coletivos ou semicoletivos, uma vez que exista proximidade entre as moradias e espaço para a inserção de tais sistemas de tratamento. Para o caso das demais moradias, que por qualquer motivo não aderirem à alternativa de implementação de um sistema coletivo ou semicoletivo, seria adequada a adoção de um sistema unifamiliar, que requer menos espaço para a sua inserção, podendo vir a requerer um modelo específico de tratamento, de acordo com a particularidade de cada moradia, e desde que atenda às normas de segurança definidas na norma regulamentadora.

Na Elipse 3, que abrange parte da área rural do município, pode ser identificada uma vasta área verde, que possibilita a implementação de distintos sistemas, sendo importante salientar que a proximidade entre o local de tratamento de esgoto e o das moradias é de grande importância, para que os benefícios de um sistema descentralizado não sejam comprometidos. Assim como na Elipse 2, esta zona também é composta por moradias aglomeradas ou isoladas. Assim sendo, sugere-se as mesmas medidas propostas para a zona intermediária, acima referidas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É reconhecida a importância de a infraestrutura urbana contar com saneamento básico, de forma ampla e sistêmica, a fim de oferecer condições de vida adequadas para a população, sem comprometer a preservação do meio ambiente. Especificamente no âmbito abordado neste trabalho, entende-se que as estratégias apresentadas sejam viáveis de serem implementadas, principalmente pelo fato de serem de baixo custo, quando comparadas aos modelos convencionais centralizados, e por promoverem, adicionalmente, a autonomia civil. Esse cenário permite que as comunidades possam gerir, seja de forma conjunta ou individualmente, tais serviços. Aventa-se a possibilidade

de as comunidades em questão, tentarem negociar com o poder público a utilização dos recursos que seriam investidos em um modelo convencional, no sentido de investir em melhorias locais que promovam avanços, em termos de qualidade de vida e sustentabilidade.

O conceito de gradientes de densidades populacionais, como orientador do estudo, foi considerado simples, eficiente e de baixo custo, no sentido de articular informações sobre a maneira de melhor ocupar um determinado território, além de melhor embasar a tomada de decisão. Essa estratégia pode ser extrapolada para a avaliação de ações mais abrangentes, também relacionadas diretamente à qualidade do lençol freático, que, em última instância, abastece o município, de modo a contribuir para a saúde e resiliência da comunidade.

Em termos de trabalhos futuros, é sugerida a avaliação de outras técnicas e sistemas de baixo impacto, segundo a mesma abordagem, que possam ser empregadas também no sentido de contribuir para a proteção das águas, na escala do município, e dentro da inserção deste na bacia hidrográfica da qual faz parte. Um projeto nesta direção contemplaria estudos que se relacionam ao uso do solo, à drenagem urbana e ao manejo de resíduos sólidos.

Com relação a questões relacionadas às águas pluviais, considerando a sua baixa adoção no abastecimento residencial, identifica-se aí uma possibilidade para o desenvolvimento de projetos que reconheçam os benefícios deste sistema. Tais estudos, vinculados, principalmente, ao meio urbano, poderiam incluir o estudo, diretamente associado, de infraestruturas urbanas permeáveis, de modo a direcionar adequadamente os excedentes não armazenados, no sentido de alimentar o lençol freático, e, neste percurso, fazendo com que o solo faça a filtragem natural das águas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil**: abastecimento urbano de água. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas>>, 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas, 2019.
- ALEXANDER, C.; SILVERSTEIN, M.; ISHIKAWA, S. **A Pattern Language**. Berkeley: Oxford University Press, 1977.
- ARDEN, S.; MA, X. (Cissy); BROWN, M. Holistic analysis of urban water systems in the Greater Cincinnati region: (2) resource use profiles by emergy accounting approach. **Water Research X**, v. 2, p. 100012, 2019.
- BETTENCOURT, L. Cidades como sistemas complexos.

In: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLLI, M. H. (Eds.). **Modelagem de Sistemas Complexos para Políticas Públicas**. Brasília: IPEA, 2015.

ERCOLE, L. A. dos S. **Sistema Modular de Gestão de Águas Residuárias Domiciliares**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

FARR, D. **Urbanismo sustentável: Desenho Urbano com a Natureza**, 2013.

IBGE. **Censo de 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: nov. 2019.

JUNG, Y. T.; NARAYANAN, N. C.; CHENG, Y.-L. Cost comparison of centralized and decentralized wastewater management systems using optimization model. **Journal of Environmental Management**, v. 213, p. 90–97, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718300975>>

KIRSHEN, P. et al. Integrated urban water management applied to adaptation to climate change. **Urban Climate**, v. 24, n. August 2017, p. 247–263, 2018.

LIBRALATO, G.; VOLPI GHIRARDINI, A.; AVEZZÙ, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. **Journal of Environmental Management**, v. 94, n. 1, p. 61–68, 2012.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 1, p. 652–659, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708001618>>

NEWMAN, P.; JENNINGS, I. **Cities as Sustainable Ecosystems: Principles and Practices**. Island Press, 2008.

SATTLER, M. A. **Habitacões de Baixo Custo Mais Sustentáveis: A Casa Alvorada e o Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis**. Porto Alegre: ANTAC, 2007. (Coleção Habitare, 8). Disponível em: <www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao9/livro_completo.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2008.

SERRAO-NEUMANN, S. et al. Urban water metabolism information for planning water sensitive city-regions. **Land Use Policy**, v. 88, n. July, p. 104144, 2019.

TONETTI, A. L. et al, **Tratamento de esgotos domésticos em comunidade isoladas**: referencial para a escolha de soluções. 1 ed. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil. 2018.

AUTORES

ORCID: 0000-0002-1064-4876

ALLINE GOMES LAMENHA E SILVA, M.Sc. | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) | Porto Alegre, RS - Brasil | Correspondência para: Av. Osvaldo Aranha, 99, Núcleo Orientado para a Inovação da Construção - Centro Histórico, Porto Alegre - RS, 90035-190 | e-mail: allinelamenha@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4619-0244

MÁRCIA DE MORAIS STEIN | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) | Porto Alegre, RS - Brasil | Correspondência para: Rua Visconde Duprat, 212/201, Petrópolis, Porto Alegre - RS, 90.690/430 | e-mail: marciamstein@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4794-9638

DANIELA TATSCH BAPTISTA | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) | Porto Alegre, RS - Brasil | Correspondência para: Rua Olinda, 126/401, São Geraldo, Porto Alegre - RS, 90240-570 | e-mail: danibaptisch@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5113-4074

MIGUEL ALOYSIO SATTLER, Ph.D. | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) | Porto Alegre, RS - Brasil | Endereço para correspondência: Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3o andar | email: masattler@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SILVA, Alline Gomes Lamemha e; STEIN, Márcia De Moraes; BAPTISTA, Daniela Tatsch; SATTLER, Miguel Aloysio. Soluções Urbanas Sustentáveis: Avaliação Integrada do Abastecimento de Água e Tratamento de Esgoto A Partir de Gradientes de Densidade. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 67-78, mai. 2020.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n2.67-78>.

DATA DE ENVIO: 30/04/2020

DATA DE ACEITE: 03/05/2010