

Proposta de um índice para avaliação e auxílio a decisão da segurança hídrica das soluções alternativas autoconstruídas em áreas Periurbanas

Proposal for an index to assess and aid decision-making on water security for self-constructed alternative solutions in Peri-Urban areas

Decio Tubbs Filho¹, Suely Yoshinaga Pereira² *in memoriam*, Ana Elisa Silva de Abreu³

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil, tubbs@ufrj.br

²Universidade Estadual de Campinas, São Paulo - Brasil, suelyyoshinaga@gmail.com

³Universidade Estadual de Campinas, São Paulo - Brasil, aeabreu@unicamp.br

Recebido:

14 de março de 2025

Recebido no formato de revisão:

18 de julho de 2025

Aceito:

12 de dezembro de 2025

Disponível online:

23 de fevereiro de 2026

Seção:

Artigos

Palavras-chave:

Poços domésticos.
Índice de segurança.
Área periurbana.
Municípios.
Autoabastecimento.

Keywords:

Domestic wells.
Self-supply.
Groundwater.
Safety index.

<https://doi.org/10.14295/ras.v40i1.30314>



RESUMO

Os poços domésticos, aqui denominados por Soluções Alternativas Autoconstruídas e o autoabastecimento têm pouca visibilidade na gestão da água subterrânea no âmbito municipal, característica que contribui para a insegurança hídrica das populações usuárias. Apesar da existência de inúmeras metodologias para a avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas, boa parte exige conhecimento específico de conceitos hidrogeológicos, portanto, distante da realidade da maioria dos técnicos das mais de cinco mil prefeituras municipais brasileiras. Além disso, muitas apoiam-se na obtenção de indicadores por meio de análises químicas, o que as torna onerosas. Para apoiar as prefeituras na tomada de decisão na gestão do abastecimento por poços domésticos, neste artigo é proposto o Índice de Segurança Hídrica para Soluções Alternativas Autoconstruídas (ISSAA), desenvolvido com base em revisão bibliográfica e empregando a análise multicritério no auxílio à decisão (AHP) para qualificação e hierarquização dos parâmetros utilizados na formulação do índice. O ISSAA é constituído por três tabelas principais e um pequeno tutorial, que auxilia o desenvolvimento do índice. Sua aplicação resulta em uma escala de valores que indica o risco pontual em cada poço e as prioridades operacionais e de gestão hídrica a serem empregadas, auxiliando na decisão dos técnicos municipais, notadamente da Vigilância em Saúde Ambiental.

ABSTRACT

Domestic wells, here referred to as Self Constructed Alternative Solutions, and self-supply systems have little visibility in groundwater management at the municipal level, a characteristic that contributes to water insecurity among user populations. Despite the existence of numerous methodologies for assessing the risk of groundwater contamination, many require specific knowledge of hydrogeological concepts, thus falling outside the scope of most technicians in the more than five thousand Brazilian municipalities. Furthermore, many rely on obtaining indicators through chemical analyses, which makes them costly. To support municipalities in decision-making regarding the management of water supply from domestic wells, this article proposes the Water Security Index for Self-Constructed Alternative Solutions (ISSAA), developed based on a literature review and employing multi-criteria analysis in decision support (AHP) for the qualification and prioritization of the parameters used in the index formulation. The ISSAA consists of three main tables and a short tutorial to assist in the development of the index. Its application results in a scale of values that indicates the specific risk at each well and the operational and water management priorities to be employed, assisting in the decision-making of municipal technicians, particularly those in Environmental Health Surveillance.

1. INTRODUÇÃO

Embora a quantidade de poços utilizados pela população seja significativa e de importância para o abastecimento, principalmente da população mais carente periurbana e rural, esse sistema de abastecimento de água tem pouca visibilidade e representa uma lacuna na gestão e governança dos recursos hídricos no âmbito municipal.

Onde há lacunas na oferta da água pública ou onde ela não é fornecida, as famílias em todo o mundo tendem a investir em suas próprias instalações de autoabastecimento perfurando poços domésticos, (Sutton;e Butterworth, 2021). Cerca de metade da população mundial usa águas subterrâneas para beber Margat e Van Der Gun (2013); entretanto, a quantidade de água subterrânea captada em poços domésticos autoconstruídos infelizmente não é conhecida com exatidão, porque as informações precisas não estão disponíveis em quase todos os países. As existentes, contudo, indicam que centenas de milhões de pessoas em todo o mundo dependem de poços domésticos.

Essa questão é particularmente preocupante em áreas periféricas de cidades, onde a falta de rede pública de água ou a descontinuidade dos serviços, coloca os poços de abastecimento familiar junto a fossas negras, expondo a população a grande risco (Hirata *et al.*, 2019).

Um dos problemas mais difíceis associados aos poços domésticos é garantir que eles tenham água de qualidade segura, isso ocorre, principalmente, porque a qualidade da água do poço doméstico unifamiliar é responsabilidade do proprietário (Brasil, 2020).

Por outro lado, gerenciar poços privados para proteção da saúde pública é um desafio e requer dados não apenas da amostragem de água do poço, mas também das características do poço (tipo, profundidade e manutenção) e a população usuária (demografia, usos da água etc.). Soma-se a isso a falta de um arcabouço regulatório claro, consistente, realista e interesse político, pois os usuários periféricos geralmente são mais necessitados e sem relevância política (Tubbs; Schueler; Yoshinaga, 2022).

Ainda que se registrem inúmeros trabalhos dedicados à avaliação da qualidade da água de poços rasos em áreas periurbanas e rurais, por exemplo, (Suhogusoff; Hirata; Ferrari, 20122013; Schelling; Pedrotti; Sá, 2016; Costa; Oliveira; Valente, 2018; Silva, 2019; De Jesus, 2019, Rupias; Pereira; Abreu, 2021), muitos são focados em análises químicas e bacteriológicas, no entanto, essas análises são onerosas e nem sempre estão rotineiramente disponíveis para a maioria dos municípios brasileiros.

Além disso, de acordo WHO (2011), um modelo limitado apenas às análises químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas obtidas nas captações domésticas, sem hierarquização das condições locais e construtivas, não é economicamente viável. Isso é devido aos custos analíticos envolvidos e as limitações de confiabilidade apenas nos testes de qualidade da água potável, porque geralmente poucas amostras são coletadas em comparação com a quantidade de água consumida e os resultados levam um tempo para serem avaliados.

Assim sendo, para além da avaliação das características hidroquímicas e microbiológicas da água, é preciso identificar as características relacionadas aos sistemas de captação de abastecimento local (poços, fontes e minas d'água) e as consequências que os aspectos construtivos podem ter para a segurança do abastecimento. De acordo com Robins (2019), todas as metodologias para a avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas são intensivas no uso de dados, requerendo conhecimento detalhado da cobertura do solo e de suas propriedades, da zona vadosa, e das propriedades físicas e químicas.

Robins (2019) observa que esses dados raramente estão disponíveis na íntegra e invariavelmente se tornam subjetivos, além de que as avaliações citadas só funcionam em uma escala maior do que aquela de interesse de uma comunidade em um município e igualmente desconsideram a dimensão humana e social da importância das águas subterrâneas. Desse modo, a falta de visibilidade dos poços domésticos em regiões periféricas e a ausência de governança e da gestão apropriada, resultam em insegurança hídrica dessas populações usuárias de água subterrânea.

Se o objetivo for avaliar as condições locais e operacionais de um poço doméstico unifamiliar, ponto a ponto, casa a casa, em áreas periurbanas, regiões onde a densidade populacional normalmente é grande, a previsão da contaminação a partir de muitos métodos hidrogeológicos convencionais perde a funcionalidade. Na dependência da escala a ser adotada, ou seja, *avaliar as condições operacionais de um poço em domicílios unifamiliares periurbanos é uma atividade essencialmente local*, (Tubbs Filho; Schueler; Yoshinaga, 2024).

Em vista do exposto, neste artigo apresenta-se o Índice de Segurança Hídrica para Soluções Alternativas Autoconstruídas (ISSAA), uma ferramenta idealizada que tem por objetivo principal auxiliar a estratégia dos técnicos das prefeituras municipais, especialmente os agentes municipais de saúde, para priorização das ações visando à segurança do abastecimento de populações periurbanas por poços domésticos, que serão doravante denominadas soluções alternativas autoconstruídas (SAA).

O objetivo do ISSAA é ajudar o município no entendimento da proteção das águas subterrâneas, identificando o potencial de problemas da qualidade da água subterrânea e recomendando as ações prioritárias para redução do risco. Ou seja, em virtude da falta de recursos financeiros, ele indica as prioridades de atuação e apoia a tomada de decisão em âmbito municipal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente proposta apoia-se em experiência anterior de campo em um projeto piloto de cooperação técnica entre docentes da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e da Faculdade de Educação Tecnológica do Estado do Rio de Janeiro (FAERTERJ, Campus Paracambi), relatada em Tubbs Filho e Schueler (2021). As tabelas de avaliação seguiam uma abordagem semelhante a inspeção sanitária onde as respostas são “sim ou não” (MS, 2021; Rickert *et al.*, 2014; Ndububa; Idowu, 2015).

Adotou-se como premissa que o índice a ser proposto deveria ser simples, prático, de fácil reprodução. Esses princípios estão baseados em um programa extensionista criado na década dos anos 1990 (FarmASystem) como parte de um projeto cooperativo entre a diversas universidades dos Estados Unidos da América e a Agência de Proteção Ambiental (EPA) do mesmo país, único em sua categoria e que foi empregado também no Canadá e Austrália (Castelnuovo, 1999).

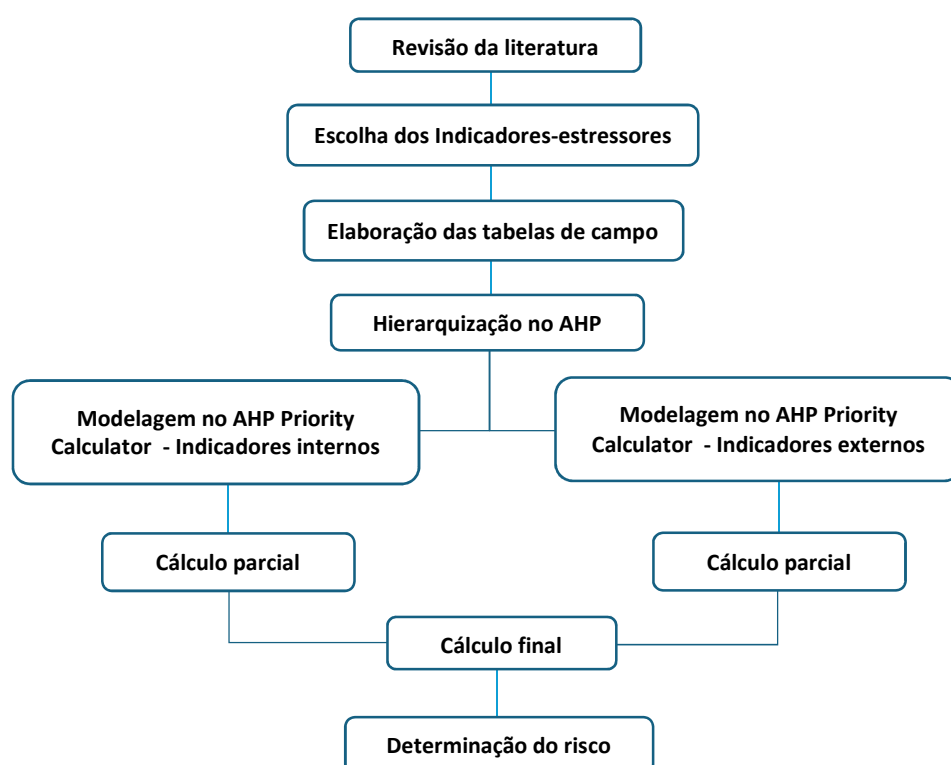


Figura 1. Fluxograma da metodologia empregada

A rigor o ISSAA é um Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), com o objetivo de avaliar de forma qualitativa as águas subterrâneas e auxiliar no monitoramento ambiental.

O índice aqui proposto (ISSAA) foi desenvolvido em três fases: a primeira fase constou da definição dos indicadores que comporiam o índice; a segunda fase consistiu na análise dos pesos a serem atribuídos a cada indicador e como eles seriam organizados e a terceira etapa consistiu na definição do número de classes de risco definição das ações a serem tomadas para cada classe de risco. O trabalho é sintetizado por meio do arranjo metodológico da Figura 1.

2.1. Primeira etapa: definição dos indicadores

Foram usadas as seguintes palavras chaves em português: soluções alternativas individuais: usos insignificantes; águas subterrâneas e poços domésticos; qualidade das águas em poços domésticos; água subterrânea em áreas urbanas.

Na língua inglesa foram utilizadas: private water wells groundwater; groundwater; domestic and private wells risk assessment; groundwater self-supply and poor urban dwellers; urban groundwater and risks assessment poor urban dwellers; private well groundwater source; domestic self-supply groundwater use in urban; self Supply.

De forma complementar foram pesquisadas as palavras chaves, risco e segurança hídrica; análise multicritério e áreas periurbanas. Como ferramenta da pesquisa bibliográfica foram consultadas plataformas tradicionais de busca online, tais como: "Periódicos CAPES"; "Scientific Electronic Library Online" (SciELO); Google Acadêmico e; Academia.Edu, bem como listas de referências disponíveis em documentos publicados, livros, publicações, artigos nacionais e internacionais, e trabalhos acadêmicos (teses e dissertações); relatórios técnicos, diagnósticos; pesquisa em sites eletrônicos: órgãos gestores e instituições de ensino.

Em seguida foi feita a execução da pesquisa e seleção dos artigos. Por meio da leitura dos resumos foi possível dividi-los em grupos, identificando os mais relevantes para posterior leitura do texto completo. Considerando os indicadores como fato, ação antrópica ou condição natural que pode motivar a insegurança hídrica e riscos nas SAA, para a proposta do índice ISSAA eles foram divididos em duas categorias: diretos e indiretos.

Os indicadores diretos são identificados com as condições hidrogeológicas, podendo provocar riscos mais significativos, por vezes imediatos e presentes no local de instalação das SAA ou nas proximidades, são de fácil identificação e medição, proporcionando uma visão prática do processo.

Os indicadores indiretos, mais identificados com as condições locais de saneamento e saúde, que causam riscos menos perceptíveis, integrados ao local da captação.

2.2. Segunda Etapa: definição do peso dos indicadores

Na segunda fase, os indicadores identificados foram qualificados, hierarquizados e modelados pelo Método de Análise Hierárquica *Analytic Hierarquic Process*, AHP (Saaty 2008).

A modelagem da hierarquização utilizou o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvendo duas matrizes de comparação pareadas para os indicadores, que permitiram analisar as várias alternativas com base na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar grandezas relativas por meio de comparações par a par realizadas de forma consistente e racional.

Empregando a matriz de comparação par a par ou matriz de decisão e a escala fundamental de Saaty (2008), Tabela 1, o método utiliza a escala de comparação, em que se pode definir a hierarquia de importância entre os indicadores previamente definidos.

A Tabela 2 apresenta a matriz de comparação pareada para os indicadores diretos.

Da mesma forma, a Tabela 3 apresenta a matriz de comparação pareada para os indicadores indiretos.

Tabela 1 – Escala de hierarquização para matriz de comparação no AHP

Intensidade	Julgamento de Importância	Explicação
1	Igual importância	Ambos os critérios contribuem igualmente.
3	Importância moderada	Um critério é ligeiramente mais importante.
5	Importância forte	Um critério é claramente mais importante.
7	Importância muito forte	Um critério é comprovadamente mais importante.
9	Importância extrema	Um critério é absolutamente mais importante.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Usados para refinamentos entre julgamentos.

Fonte: modificado a partir de SAATY (2008).

Tabela 2 – Matriz de comparação pareada para os indicadores das condições locais de construção das SAA

	Tipo de captação	Tipo de solo em torno do poço	Profundidade do poço	Tipo de poço	Posição em relação a fonte de contaminação	Profundidade da água subterrânea	Distância de uma fonte de contaminação
7- Tipo de captação 1	1	1/3	1/5	1/5	1/7	1/8	1/9
6-Tipo de solo em torno do poço (3)	3	1	3/4	3/5	3/7	3/8	3/9
5- Profundidade do poço (4)	4	4/3	1	4/5	4/7	4/8	4/9
4- Tipo de poço (5)	5	5/3	5/4	1	5/7	5/8	5/9
3- Posição do poço em relação a fonte de contaminação (7)	7	7/3	7/4	7/5	1	7/7	7/9
2- Profundidade da água subterrânea (8)	8	8/3	8/4	8/5	8/7	1	8/9
1- Distância de uma fonte de contaminação (9)	9	9/3	9/4	9/5	9/7	9/8	1

Tabela 3 – Matriz de comparação pareada para os indicadores diretos

	7- O poço é compartilhado com outras casas?	6-Manutenção	5- Densidade populacional Casas/hectare	4- Condição local de Saneamento	3- Análise da água; orientação institucional	2-Intermitência* (falta de água)	1-Dependência da água subterrânea
7-O poço é compartilhado com outras casas? (1)	1	1/3	1/5	1/5	1/7	1/8	1/9
6- Casas /Km2 (Baseado em IBGE, 2023) (3)	3	1	3/4	3/5	3/7	3/8	3/9
5- Desinfecção (cloração ou outra técnica)(4)	4	4/3	1	4/5	4/7	4/8	4/9
4- Tempo decorrido da última análise da água (5)	5	5/3	5/4	1	5/7	5/8	5/9
3- Esgotamento sanitário (7)	7	7/3	7/4	7/5	1	7/7	7/9
2- Uso da água (8)	8	8/3	8/4	8/5	8/7	1	8/9
Intermitência* (falta de água) (9)	9	9/3	9/4	9/5	9/7	9/8	1

Após preencher a matriz, realiza-se a normalização (geralmente pela soma das colunas) e obtém-se o vetor de pesos, que representa a importância relativa de cada critério. Esses pesos permitem definir uma hierarquia de importância entre os indicadores.

Para garantir que as comparações são coerentes, o AHP calcula o Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC). Em geral, uma $RC \leq 0,10$ indica que as comparações são consistentes.

Para agilizar os cálculos foi utilizando o sítio AHP Online System - AHP-OS, (Goepel, 2018). Este procedimento permitiu definir o grau de influência de cada uma das variáveis de forma mais precisa, reduzindo a aleatoriedade na definição dos pesos obtidos na ponderação dos indicadores.

A escolha dos valores, baseando-se na escala de comparadores foi feita pela análise comparativa de um impacto com outro, a partir da experiência de campo dos autores da proposta, por trabalho de campo para qualificar a escala de importância e ainda por meio de análise bibliográfica.

A partir da escolha dos indicadores considerou-se a importância relativa de cada um, qualificando, ordenando e dando um peso conforme uma hierarquia crescente de valores. Justifica-se a necessidade da hierarquização: a proximidade de uma SAA a uma fonte de contaminação, por exemplo, não é igualmente importante do que a idade do poço; a intermitência não tem a mesma relevância do que o tempo de funcionamento de uma SAA.

Para evitar inconsistências nos julgamentos foram desenvolvidas duas matrizes distintas, pareadas separadamente, mas com o mesmo número de indicadores, igual 7: uma relacionando os indicadores diretos e outra os indicadores indiretos.

Utilizando o sítio AHP Online System - AHP-OS, (Goepel, 2018), foram realizadas duas operações individualizadas para hierarquizar os indicadores de acordo com os dois grupos.

No caso presente, os valores relativos de cada indicador direto, obtidos no sítio AHP Online System - AHP-OS, foram multiplicados por cem para facilitar o cálculo do índice obtidos pelos avaliadores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Definição dos indicadores que constituem o ISSAA

A pesquisa bibliográfica realizada na etapa 1 resultou em 88 artigos, que foram organizados em quatro grupos de assuntos de interesse, a saber: Métodos e Técnicas para Avaliar o Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas e das Soluções Alternativas Autoconstruídas, FarmASystem, Segurança hídrica e Águas subterrâneas no ambiente urbano e periurbano. A Tabela 4 resume este agrupamento.

Tabela 4 – Temas principais desenvolvidos na pesquisa bibliográfica da etapa 1

Temas	Descrição	Total de artigos selecionados
Métodos e Técnicas para Avaliar o Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas e das Soluções Alternativas Autoconstruídas	Procurou sintetizar algumas técnicas para a avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas aplicáveis nos SAA e que poderiam ser utilizadas como subsídio a formulação de uma nova abordagem para a proteção dos SAAs.	32
FarmASystem	Consistiu numa avaliação do risco preliminar de contaminação das águas subterrâneas.	23
Segurança hídrica	Revisou os principais aspectos da segurança hídrica, aferindo a aderência desses conceitos nas SAA em comunidades periurbanas e analisando os possíveis estressores relacionados as SAA.	15
Águas subterrâneas no ambiente urbano e periurbano	Destacou as questões, necessidades e características da gestão das águas subterrâneas no ambiente urbano e periurbano; procurando aumentar a compreensão dos processos hidrogeológicos e fornecer uma estrutura para a revisão apropriada e sistemática das questões hídricas subterrâneas na administração urbana.	18

Os indicadores diretos utilizados no índice ISSAA são apresentados a seguir. Cada um deles deve ser categorizado em (4) risco baixo, (3) Risco baixo a moderado, (2) Risco alto a moderado ou (1) risco alto de acordo com as descrições apresentadas na Tabela 6.

- Distância a uma fonte de contaminação: a distância horizontal para contaminantes é definida como a distância horizontal do ponto de interesse (que pode ser um poço) até o local de contaminação". A distância afeta a quantidade de tempo disponível para que os processos de atenuação ocorram;
- Profundidade da água subterrânea: quanto mais próximo o nível da água subterrânea (lençol freático) estiver da superfície do terreno, maior é o risco de contaminação;
- Proteção sanitária: as condições construtivas de um poço podem ser fundamentais para a proteção contra a contaminação a partir da infiltração da água de superfície para a água subterrânea;
- Tipo de poço; embora exista uma diversidade construtiva e de denominações regionais no país o diâmetro é a característica importante a ser observada associada as condições locais do poço. Poços de grande diâmetro (>1 metro) sem a devida proteção são os mais suscetíveis a contaminação;

- Profundidade do poço; poços rasos extraem água subterrânea mais próxima da superfície e podem ser diretamente afetados por diversas atividades poluidoras próximas ao local do poço. Dependendo da extensão do revestimento do poço abaixo do lençol freático, a água da chuva, as águas superficiais de drenagem urbana e de irrigação, podem penetrar no solo transportando os contaminantes;
- Tipo de solo em torno do poço; sabe-se que as características do solo nas proximidades de um poço podem contribuir para evitar a contaminação da água subterrânea. Assim, as condições em torno de uma SAA podem variar positivamente na proteção do poço em solos argilosos e inversamente em solos arenosos;
- Tipo de captação. Uma outra característica de uma SAA que pode contribuir para a contaminação local da água subterrânea é tipo de captação. Bombas submersas ou mesmo de superfície desde que isoladas, são menos propícias a facilitar a contaminação. De outra forma, nas captações operadas manualmente podem facilitar a contaminação da água subterrânea.

Tabela 5 – ISSAA - Indicadores diretos e sua classificação

Indicadores (internos)	(4) Risco baixo	(3) Risco baixo a moderado	(2) Risco alto a moderado	(1) Risco alto
Distância da SAA a uma fonte de contaminação (ver Tabela 4)	Atende ou excede todos as distâncias mínimas de separação exigidas* Está a mais de 100 metros	Atende o mínimo distâncias de separação* O poço está a 50 metros de qualquer outra fonte de contaminação, pocilgas, lixões, galeria de infiltração, entre outros**	Atende às distâncias mínimas de separação apenas para fontes que precisam estar a pelo menos 30 metros do poço	Não atende a todas as distâncias mínimas de separação para fontes que devem estar a pelo menos 30 metros do poço *
Profundidade até a água subterrânea	Lençol freático abaixo de 10 metros	Lençol freático entre 5 e 10 metros	Lençol freático entre 3 e 5 metros	Lençol freático a menos que 3 metros
Proteção Sanitária	Poço isolado, com tampa de proteção, piso cimentado, proteção contra inundação e animais, local bem cuidado	Poço isolado, com tampa de proteção, local bem cuidado, piso de terra, possibilidade de entrada de água superficial	Proteção precária, poço parcialmente aberto, sem isolamento, piso de terra, entorno malcuidado	Sem proteção sanitária, poço parcialmente aberto, local malcuidado, presença de lixo e dejetos de animais nas proximidades
Tipo de poço	Poço tubular profundo	Raso perfurado mecanicamente minipoço	Cavado Ponteira	Cacimba, cisterna, amazonas, poço caipira
Profundidade do poço;	Maior que 30 metros	10 a 30 metros	5 a 10 metros	Menor que 5 metros
Tipo de solo em torno do poço	Argiloso	Pouco argiloso	Arenoso	Muito arenoso
Tipo de captação da água	Bomba elétrica submersa	Bomba elétrica externa	Bomba manual	Captação manual, por sarilho, balde, materiais de captação, deixados no chão

Para auxiliar a decisão do indicador “Distância da SAA a uma fonte de contaminação”, apresenta-se na Tabela 6 uma lista teórica elaborada obtida a partir de ABNT (1993; Brasil, 2014; Powell; Dallemand, 1999) das distâncias mínimas entre a SAA e uma possível fonte de contaminação na ausência de legislação específica em âmbito municipal, estadual ou federal.

Os indicadores indiretos utilizados no ISSAA são apresentados a seguir. Cada um deles deve ser categorizado em (4) risco baixo, (3) Risco baixo a moderado, (2) Risco alto a moderado ou (1) risco alto de acordo com as descrições apresentadas na Tabela 6.

- Intermitência do fornecimento de água pela concessionária: a intermitência significa um abastecimento de água que por períodos não está disponível sendo, deste modo, importante condição motivadora do uso das águas subterrâneas em áreas periurbanas e urbanas utilizando as SAA;
- Uso da água: associada a dificuldade de abastecimento convencional, o uso da água em SAA em áreas de baixa intermitência pode ser de uma simples complementação sazonal, incidindo em risco reduzido. Por outro lado, quando há uma forte dependência da água subterrânea e a sua captação serve a todo tipo de uso, inclusive para beber, o risco de contaminação é maior;
- Esgotamento sanitário: a falta de saneamento básico em áreas periurbanas acarreta o uso de sistemas independentes tais como, fossas sépticas, latrinas, valas negras e sob essas condições as águas derivadas poluídas desses sistemas tendem a se infiltrar e contaminar as águas subterrâneas;

- Tempo decorrido da última análise da água: por atuação do Vigiagua municipal ou do proprietário da SAA podem ser realizadas análises da água, entretanto, caso essa ação não seja rotineira é importante qualificar o tempo decorrido da última. Análise da água, caso tenha ocorrido;
- Desinfecção, é fato que certas municipalidades conseguem efetuar ações de desinfecção por meio de cloração direta, cloradores por difusão ou outras técnicas, no entanto, essas ações devem ser rotineiras, caso contrário perdem a efetividade;
- Densidade populacional (casas /Km²): embora a urbanização traga algum tipo de serviço público, a intensidade desse processo pode gerar riscos de contaminação da água subterrânea, principalmente onde não exista saneamento básico, portanto, qualificar a densidade da ocupação urbana é importante para decidir onde atuar na prevenção;
- Uso do poço por mais de uma unidade familiar: não é incomum que em certas áreas periurbanas, principalmente nas épocas de estiagem, que os proprietários de uma SAA mais produtiva, compartilhem o uso com a vizinhança. Assim, o risco de contaminação deixa de ser para uma unidade familiar, mas eventualmente multiplicado por um número maior de pessoas, exigido, nestes casos, uma atenção especial.

Tabela 6 – Relação entre a distância e a fonte dos contaminantes

Tipo de fonte de contaminante	Distância mínima a SAA (metros)
1-Fossas/ latrina/ privada	15
2-Casas vizinhas	15
3- Bueiros / tubulações de esgoto	20
4- Valão de esgoto	30
5-Criações de animais	30
6- Brejos e áreas alagadas	30
7-Área agrícola	30
8-Reciclagem de materiais em geral (eletrônico)	30
9-Cemitérios	50
10-Lixões; depósito de lixo clandestino	50
11- Lava rápido	50
12-Mecânica de automóveis; ferro-velho; garagens em geral	75
13-Dutos de óleo; gasolina; gás	75
14-Postos de serviço / gasolina	100

Tabela 7 – ISSAA - Indicadores indiretos e sua classificação

Indicadores	(4) Risco baixo	(3) Risco baixo a moderado	(2) Risco alto a moderado	(1) Risco alto
Intermitência (falta de água no domicílio sem comunicação prévia)	Ocasional	Até sete dias sem água, duas ou mais vezes por ano	De sete a quinze dias sem água, duas ou mais vezes por ano, principalmente no verão	Não há abastecimento rede de distribuição
Uso da Água	Eventual, irrigação de gramados e jardins, lavagem de roupas etc.	Higiene pessoal, uso para cozinhar eventual	Uso diário, geral, para beber e cozinhar etc.	Uso geral, única fonte para beber e cozinhar
Esgotamento sanitário	Coleta e tratamento	Só coleta	Fossa séptica	Sumidouro vala negra latrina
Tempo decorrido da última análise da água	Análise anual	Análise há três anos	Análise é descontínua, não lembra, não sabe	A água não é analisada
Desinfecção (cloração ou outra técnica)	Frequente com acompanhamento técnico	Frequente sem acompanhamento técnico	Ocasional	Não há
Densidade populacional casas/km ² (Baseado em IBGE, 2023)	Menor que 50 casas	De 50 a 150 casas	De 150 a 250 casas	Maior que 250 casas
O poço é compartilhado com outras casas?	Não	Uma casa	Uma a duas casas	Mais que duas casas

3.2. Modelagem da decisão pelo método AHP

A Tabela 8 apresenta os resultados da modelagem da decisão pelo método AHP para os indicadores diretos, ou seja, aos pesos a serem atribuídos para cada indicador direto para cálculo do ISSAA.

Tabela 8 – ISSAA - pesos atribuídos aos indicadores diretos

Indicador direto	Fator de normalização – AHP (x100)
1-Distância de uma fonte de contaminação	33,6
2-Profundidade da água subterrânea;	22,8
3- Proteção sanitária	17,4
4- Tipo de poço;	9,2
5-Profundidade do poço;	7,5
6- Tipo de solo ao redor do poço	5,8
7- Tipo de captação	3,7

A Tabela 9 apresenta os valores relativos de cada indicador indireto, igualmente multiplicado por cem para facilitar o cálculo do índice, ou seja, aos pesos a serem atribuídos para cada indicador direto para cálculo do ISSAA.

Tabela 9 – ISSAA - pesos atribuídos aos indicadores indiretos

Indicador indireto	Fator de normalização – AHP (x100)
1-Intermitência (falta de água)	30
2-Uso da água	23,5
3-Saneamento local	17,2
4- Tempo decorrido da última análise	12,5
5-Desinfecção da água	9,3
6- Densidade populacional casas /Km ² (Baseado em IBGE, 2023)	4,7
7-O poço é compartilhado com mais de uma unidade familiar?	2,8

Segundo Saaty (2008), para aceitar a operação a razão de consistência, CR (Consistency Ratio), deve ser menor ou igual a 10%, para que a operação seja considerada consistente e uma planilha seja gerada com os resultados corretos. No presente caso, o CR foi 3,1 para os dados da tabela 8 e 1,3 para os dados da tabela 9, ambos dentro CR proposto por (Saaty 2008).

3.3. Cálculo do ISSAA

O índice ISSAA deve ser calculado a partir das tabelas 6 e 8 com sete indicadores cada, para ajudar na avaliação e eficácia de como os cuidados em torno da SAA protegem a qualidade da água subterrânea.

Para cada planilha deve-se calcular:

$$RP = P \times FN$$

Onde RP = resultado parcial, P = valor da classe do indicador, que pode ser 1,2,3 ou 4. FN = fator de normalização, apresentado nas tabelas 5 e 7. O resultado do ISSAA será a média simples dos resultados parciais calculados para os indicadores diretos e indiretos. O valor do índice ISSAA pode variar entre 14 e 57.

Apresenta-se a seguir um passo a passo para a aplicação do índice:

1. Inicialmente, o avaliador registrará os dados cadastrais do local em análise: município, distrito, localidade (bairro, loteamento, rua, localização, fotos etc.) e outros que julgue pertinente. A seu critério poderá incluir informações relativas à percepção dos moradores referentes ao uso da água subterrânea.
2. De posse das duas planilhas, tabelas 4 e 6, o avaliador decidirá na análise de campo, qual a melhor alternativa de risco (de 1 a 4) para cada indicador, registrando cada valor obtido na coluna "Pontuação"
3. Em seguida, multiplicará cada valor registrado nesta coluna, pelo seu valor correspondente na coluna Fator de Normalização, tabelas 8 e 9, registrando o valor encontrado na célula correspondente da coluna "Resultado parcial".
4. O resultado de cada planilha será o somatório das células encontradas na coluna do resultado parcial, dividido por sete;
5. Quando não for possível avaliar um ou mais indicadores, o resultado parcial será a soma dos indicadores pontuados, divididos pelo número de indicadores possíveis de serem registrados;
6. Essas operações são idênticas para ambas as planilhas, dos indicadores diretos e indiretos;
7. O resultado será a soma dos resultados parciais encontrados em cada planilha dividido por dois;

8. Em seguida o avaliador, utilizando a Tabela 10, determinará o risco à segurança hídrica, identificando o intervalo de risco compatível com o valor encontrado no item.

Tabela 10 – Escala de avaliação do risco final a partir do ISSAA

Intervalo do ISSAA	Risco
14-----25	Alto
25,1-----35	Moderado a alto
35,1-----46	Moderado a baixo
46,1-----57	Baixo

Convém ressaltar que devido à diferença entre os índices de consistência CR (1,3 e 3,1), foi possível utilizar os mesmos intervalos de classificação do risco para ambos os grupos de indicadores. O valor do intervalo de classe utilizado foi calculado dividindo a amplitude total encontrada na etapa, em cada planilha, pelo número de classes (quatro), encontrando-se o valor de 10,6. Esse valor foi usado para classificação do risco com base do valor do ISSAA.

3.4. Interpretação das classes de risco e medidas a serem adotadas em cada classe

Poços pontuados como de baixo risco (ISSAA entre 46 e 57) são teoricamente isentos de prioridade para ações protetivas, mostra que o poço está protegido, mas os proprietários devem ser instruídos e motivados a manter as condições existentes a época da análise; é o objetivo de todas as avaliações.

Os poços qualificados como de baixo risco a moderado (ISSAA entre 35 e 46) fornecem proteção razoável, embora devam ser motivo de atenção e reavaliados, caso a pontuação dos indicadores mais relevantes, (distância da SAA a uma fonte de contaminação; profundidade da água subterrânea) e (intermitência e uso da água) tenham sido classificados como 1 ou 2. Neste caso recomenda-se analisar a água, quando possível.

Os poços pontuados como risco de moderado a alto (ISSAA entre 25 e 35) fornecem uma proteção inadequada em muitas circunstâncias e devem ser indicados pelos gestores para ações protetivas e/ou tratamentos emergenciais (cloração, desinfecção solar etc.), análises bacteriológicas e químicas.

Os poços considerados de risco alto (ISSAA entre 14 e 25) são inadequados e representam problemas de saúde, ambientais ou regulatórios. Devem ser prioridades máximas para as análises químicas e bacteriológicas e dependendo das condições locais até mesmo isolados temporariamente ou tamponados, providenciando outra forma de abastecimento para o usuário.

Essa classificação dá uma ideia de como as condições em torno de um poço podem estar afetando a água subterrânea, contudo, deve servir como um guia de apoio a decisão e não como um diagnóstico preciso, uma vez que representa a média de muitas classificações individuais, não envolvendo somente grandezas numéricas e possuindo um certo grau de subjetividade.

As planilhas desenvolvidas para o índice fornecem uma avaliação mais abrangente, mas não substituem uma auditoria ambiental detalhada que deve ser aplicada sempre que as condições financeiras permitam. Essa característica, sem dúvida é uma limitação do método.

As observações sobre a condição da SAA fornecem uma visão geral das boas práticas ambientais que podem ser usadas para prevenir a poluição causada diretamente pela condição ou localização, melhorando assim a segurança hídrica do proprietário.

A aplicação do índice deve ser antecedida por certas ações visando facilitar o processo de obtenção dos dados em campo. A figura 2 resume essas ações.

- Treinamento e conscientização do gestor municipal: mesmo tratando-se de um método bastante simples, é importante que exista um pequeno treinamento do gestor municipal a respeito dos conhecimentos

básicos envolvidos, convém ressaltar, entretanto, que no caso dos Agentes Municipais de Saúde, a semelhança com a investigação sanitária facilitaria a aplicação do índice.

- A Identificação das áreas prioritárias se dará pelo cruzamento dos dados referentes a saúde (DATASUS) e pela disponibilidade de água, quer pela ausência ou intermitência do fornecimento regular.
- Contato preliminar: importante esclarecer a população o propósito do trabalho, mediante um contato direto e fornecendo um pequeno folheto autoexplicativo, se houver.
- Aplicação do ISSAA: ainda que sejam importantes as ações que precedem a aplicação do Índice e que preferencialmente ele seja desenvolvido seguindo um ordenamento territorial contínuo, entretanto, também poderá ser feito de maneira isolada e pontual.
- A Cartografia dos resultados poderá ser registrada no âmbito da plataforma Google Earth ou outro sistema que esteja disponível na prefeitura.
- As ações de gestão dependerão dos resultados obtidos no ISSAA, variando de uma simples cloração, análise química ou mesmo a interrupção de funcionamento do poço.

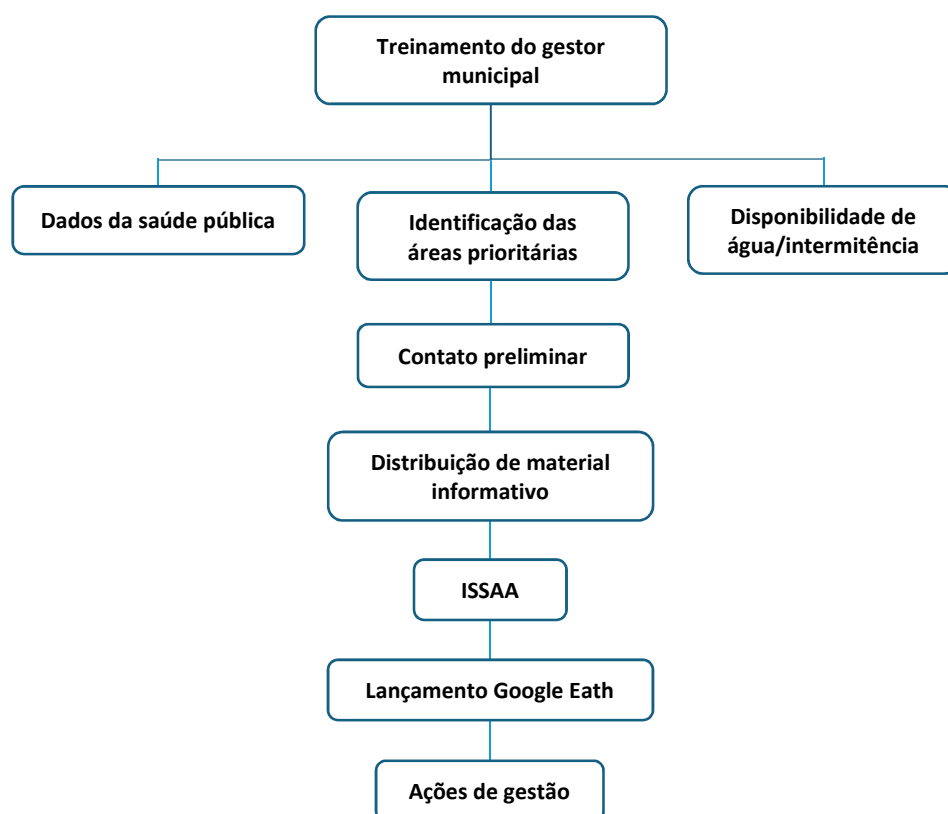


Figura 2. Fluxograma de estruturação para a captura de dados do ISSAA

4. CONCLUSÃO

O Índice de Segurança Hídrica para Soluções Alternativas Autoconstruídas (ISSAA) é um índice de fácil aplicação e baixo custo, que se baseia em inspeções de campo e dados obtidos por entrevista/consulta à população para classificação do risco à contaminação de águas fornecidas por SAA. Com base nos indicadores diretos: Tabela 4 e indicadores indiretos Tabela 6, eles permitem a classificação do local em classes de risco à contaminação que vão de baixo a alto e deve ser utilizado para tomada de decisão quanto à segurança hídrica e à priorização da aplicação de recursos.

O índice ISSAA, proposto nesse artigo, é uma ferramenta auxiliar de decisão, para reduzir a incerteza na investigação dos poços, visando estabelecer prioridades para ações protetivas da população que usa água subterrânea obtida em SAA. Portanto, é um sistema operativo de baixo custo financeiro, acessível, mas permitindo que a maioria das prefeituras brasileiras hierarquizem suas prioridades e as ações necessárias para a prevenção a

contaminação das águas subterrâneas em SAA. Ainda que possua limitações, trata-se de uma contribuição importante para a segurança hídrica de comunidades periurbanas e está adaptada à realidade de dados acessíveis no Brasil para gestão das águas subterrâneas. Ele foi pensado para aplicação por agentes públicos municipais, contudo, outros atores sociais, por exemplo Comitês de Bacias Hidrográficas, Universidades, Serviços Autônomos de Água, Emater, ONGs, também poderão utilizá-lo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de melhorias sanitárias domiciliares**. Brasília: Funasa, 2014. 44p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano**: módulo I : marcos conceituais, institucionais e legais. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. 35 p. *E-book*. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_i.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.
- CASTELNUOVO, R. Farm*A*Syst/Home*A*Syst: A framework for voluntary action that is both effective and replicable. **Water Science and Technology**, London, v. 39, n. 12, p. 315-322, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00349-2](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00349-2). Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/39/12/315/8742/Farm-A-Syst-Home-A-Syst-a-framework-for-voluntary>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- COSTA, T. A. C. R. da; OLIVEIRA, Oliveira, O. S. de; Valente, K. S. Avaliação da qualidade de águas de Poços Cacimbas e Rasos no Município de Humaitá-AM. **Revista EDUC Amazônia**: educação sociedade e meio ambiente, Manaus, ano 10, V. 20, n. 1, p. 157-172, jan./jun. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/educamazonia>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- DE JESUS, J. F. **Qualidade da água subsuperficial captada por poços rasos no bairro Itanhangá em Caldas Novas (Go)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, (GO), 2019.
- GOEPEL, K. D. Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 469-487, 2018.
- HIRATA, R. *et al.* **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil**: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. [São Paulo]: Instituto Trata Brasil, 2019. 19 p.
- IBGE. **Proposta metodológica para classificação dos espaços do rural, do urbano e da natureza no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 174 p.
- MARGAT, Jean; VAN DER GUN, Jac. **Groundwater Around the World**. London: CRC Press, 2013. 343 p. Disponível em: <http://www.crcpress.com>. Acesso em: 18 jan. 2023.
- NDUBUBA, Olufunmilayo I.; IDOWU, Temitope J. Sanitary risk assessment of domestic hand-dug wells in Yelwa-Tudu, Bauchi State of Nigeria. **International Research Journal of Public and Environmental Health**, [s. l.], v. 2, n. 8, p. 102-111, Aug. 2015. Disponível em: <http://www.journalissues.org/IRJPEH/> <http://dx.doi.org/10.15739/irjpeh.027> Acesso em: 20 jan. 2021.
- POWELL, Morgan; DALLEMAND, Barbara L. **Private Wells — Safe location and construction**. Kansas: Kansas State University, Aug. 1999. Disponível em: <http://www.oznet.ksu.edu>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- RICKERT, Bettina *et al.* **Water safety plan**: a field guide to improving drinking-water safety in small communities. Denmark: World Health Organization, 2014. 100 p.
- ROBINS, N. S. A low-tech approach to evaluating vulnerability to pollution of basement aquifers in sub-Saharan aquifer. *In*: XU, Y.; BRAUNE, E. (ed.). **Groundwater Resources in Africa**: Water Sanitary Environmental. [London: CRC Press], 2019. Cap. 9 p. 133-140. Disponível em: https://core.ac.uk/display/382076?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v. Acesso em: 15 set. 2022.
- RUPIAS, Osvaldo Jorge Brito; PEREIRA, Sueli Yoshinaga; ABREU, Ana Elisa Silva de. Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment using the water quality index and heavy-metal pollution index in the alluvial plain of Atibaia river-Campinas/SP, Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, [s. l.], v. 15, 100661, Nov. 2021.
- SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SCHELLIN, B. B; PEDROTTI, B. R. F; SÁ, J. S. de. Análise das Condições de Potabilidade da Água de Poços Rasos em Uma Propriedade da Zona Rural do Município de Canguçu, RS. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 10., 2016, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABES-RS, 2016.

SILVA, A. dos S. **Qualidade de água de abastecimento na zona rural de Santa Rita - PB e propostas de melhoria**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

SUHOGUSOFF, A; HIRATA, R. A.; FERRARI, L. Water quality and risk assessment of dug wells: A case study for a poor community in the city of São Paulo, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 68, p. 899-910, 2013. ~~February 2012.~~

SUTTON, S.; BUTTERWORTH J. **Self-Supply**: Filling the gaps in public water supply provision. Rugby Practical Action Publishing, 2021.

TUBBS FILHO, D.; SCHUELER, Adriana Soares; YOSHINAGA Pereira, Suely. Uso Social das Águas Subterrâneas em Áreas Periurbanas: O estudo de caso da bacia Hidrográfica do Rio Guandu, Região Oeste Metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Continentes**, Seropédica, n. 24, p. 312-346, jan./jun. 2024.

TUBBS FILHO, D; SCHUELER, Adriana Soares. Atividade de extensão e desenvolvimento Social Visando a Segurança Hídrica das Águas Obtidas Através de Soluções Alternativas Individuais. **Revista Controle Social e Desenvolvimento Territorial (CSDT)**, Rio de Janeiro, ed. esp, 11º ENAPEGS, 2021.

TUBBS FILHO, D; SCHUELER, Adriana Soares; YOSHINAGA Pereira, Suely. The Governance and Water Security of Groundwater obtained from private wells in periurban areas in Brazil: a case study on de Guandu river basin in the metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil. *In*: RE, Viviane *et al.* (ed.). **Groundwater for Sustainable Livelihoods and Equitable Growth**. London: CRC Press, 2022. Cap. 11, p. 195-212.

WHO. **Small-scale water supplies in the pan-European Region**. [Geneva]: WHO, 2011. 54 p.