



Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 3, año 2007 ISSN 0718-378X
PP

SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO RISCO E EFICIÊNCIA DAS ETAS

WATER TREATMENT TECHNOLOGIES SELECTION
AS A FUNCTION OF WATER PLANT RISK AND EFFICIENCY

Lyda Patrícia Sabogal-Paz
Luiz Di Bernardo

ABSTRACT

This paper deals with the risk and efficiency of water treatment plants (WTP) by means of a conceptual selection model (CSM) applicable to Brazilian communities of up to 45.000 inhabitants. Several factors, variables and indicators were studied to develop the CSM, forming 15 sublevels of selection which interconnection makes possible the progressively choice of the water treatment plants with higher sustainability likelihood, according to the input data (F), criteria (A), procedures (B) and selections (S) established in their structure.

It was possible to conclude that: i) the evaluated WTPs have different reliability degrees in the removal of the risk, depending on the number of stages which belong to the system, ii) the definition of the limit values of the technologies in the removal of risk was difficult since there is no register of such parameters in the literature and in the monitoring of most WTPs analyzed, iii) the applicability of CSM is restricted to the WTPs that meet all the domain requirement of the model. However these requirements do not eliminate the design engineer from evaluating all forms of risk present in the water and analyzing the possibility of using other treatment techniques.

Key words: Water treatment technologies

II-SABOGAL-PAZ-BRASIL-2

SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO RISCO E EFICIÊNCIA DAS ETAS

Lyda Patrícia Sabogal-Paz ⁽¹⁾

Engenheira Sanitária pela *Universidad del Valle*, Cali, Colômbia. Doutoranda em Engenharia Civil, programa de pós-graduação em Hidráulica e Saneamento na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo –EESC/USP.

Luiz Di Bernardo

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo –EESC/USP

Endereço ⁽¹⁾: Av. Trabalhador São Carlense, 400. São Carlos/SP. Brasil. CEP: 13566-590. Tel: (16) 3373 95 28. e-mail: lysaboga@sc.usp.br

RESUMO

O risco e a eficiência das estações de tratamento de água – ETAs são abordados neste trabalho, através de um modelo conceitual de seleção - MCS aplicável em comunidades brasileiras de até 45000 habitantes. Diversos fatores, variáveis e indicadores foram estudados para desenvolver o MCS, os quais ao serem interligados formaram quinze sub-níveis de seleção que, progressivamente, escolhem as estações de tratamento de água com maiores probabilidades de sustentabilidade; conforme os dados de entrada (F), critérios (A), procedimentos (B) e seleções (S) estabelecidos na sua estrutura.

O trabalho concluiu: i) as ETAs avaliadas têm diferentes graus de confiabilidade na remoção do risco, dependendo do número de etapas que compõem o sistema, ii) a definição dos valores-limite das tecnologias, na remoção do risco, foi difícil devido à falta de registros desses parâmetros na literatura e no monitoramento da maioria das ETAs analisadas e, iii) a aplicabilidade do MCS está restrita às ETAs que cumprem todos os requisitos de domínio do modelo; no entanto, esses requisitos não eliminam a responsabilidade do engenheiro projetista em avaliar todas as formas de riscos presentes na água e em analisar a possibilidade de utilizar outras técnicas de tratamento.

Palavras-chave: modelo conceitual de seleção, seleção de tecnologia, estações de tratamento de água, risco, eficiência e vazão

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

O eficiente serviço de abastecimento de água é fundamental para o desenvolvimento das comunidades; porém, no Brasil, apesar das tentativas de incrementar a cobertura, ainda existem comunidades sem adequado acesso a este benefício. As políticas do país continuarão limitadas enquanto não forem fortalecidos os aspectos técnicos, ambientais, sociais, culturais, econômicos e institucionais que permitem a implantação de obras sanitárias eficientes e sustentáveis. Neste caso, uma seleção apropriada das tecnologias de tratamento que fundamente o êxito dos projetos.

Atendendo a esta necessidade, o artigo tem como objetivo apresentar o modelo conceitual de seleção de alternativas de tratamento de água superficial, aplicável em ETAs com vazões de projeto entre 10 L/s a 100 L/s. Os aspectos envolvidos no MCS relacionam-se ao risco presente na fonte de abastecimento e à eficiência das tecnologias para reduzir o risco a valores de acordo com a Portaria n° 518 (2004).

METODOLOGIA

A estruturação do MCS precisou do estudo de diversos fatores, os quais definiram as variáveis e os indicadores de seleção. No caso do risco, os fatores avaliados foram: i) tipo de risco atuante na fonte de abastecimento e sua importância sanitária, ii) formas de quantificar o risco, iii) necessidade de monitoramento do risco na água bruta e na água tratada e iv) informação disponível para avaliar a eficiência das ETAs na remoção do perigo.

A definição da eficiência das tecnologias requereu a avaliação dos seguintes fatores: i) qualidade da água bruta, ii) vazão afluente à ETA, iii) tipo de ETA, iv) variáveis de risco a serem reduzidas pelas ETAs, v) processos e operações de tratamento de água para combater o risco, vi) tipos de tecnologias de tratamento de água, vii) produtos químicos utilizados no tratamento da água, viii) transferência de tecnologia, ix) legislação federal brasileira, x) particularidades da área de estudo e xi) desempenho e limitações das estações.

As atividades realizadas para avaliar os fatores de risco e de eficiência das tecnologias foram baseadas em:

- revisão de literatura,
- realização de 26 visitas em ETAs em escala real, 21 no Brasil e 5 na Colômbia,
- avaliação das recomendações de pesquisadores para escolha das variáveis (parâmetros de qualidade de água) e dos indicadores (unidades dos parâmetros de qualidade) de risco,
- análise do risco regulamentado na legislação federal brasileira,
- revisão da quantidade e qualidade dos dados disponíveis das variáveis de risco,
- avaliação do método de quantificação e período de coleta dos dados das variáveis de risco,
- seleção das características dos processos e das operações de tratamento de água,
- definição da combinação dos processos e das operações de tratamento de água nas ETAs,
- cálculo do desempenho das ETAs,
- definição das limitações das tecnologias,
- estabelecimento dos requisitos de domínio do modelo.

Definidos os fatores, as variáveis e os indicadores de risco e de eficiência das ETAs, como base no trabalho desenvolvido por CINARA (2001), foram estabelecidos os critérios para estruturar o MCS, permitindo a conjugação de seus componentes, de forma sistêmica. Para compreender a estrutura do modelo foi elaborado um diagrama de blocos.

O modelo foi estruturado conforme:

- Dados entrada – F: permitem que os níveis “filtrem” as opções tecnológicas sustentáveis, segundo os dados fornecidos pelo usuário do modelo,
- Critérios básicos – A: fazem referência aos aspectos previamente estabelecidos como conceitos, padrões e normas utilizados para, posteriormente, tomar decisões,
- Procedimentos – B: são executados com base na informação de entrada (F) e nos critérios básicos (A), correspondem aos cálculos do MCS,
- Seleções parciais – S: conforme os procedimentos (B) são construídas as seleções das alternativas sustentáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis e Indicadores de Risco

Com as informações disponíveis nas ETAs e com a revisão bibliográfica, decidiu-se utilizar no MCS, as variáveis e os indicadores de risco da Tabela 1.

Os demais parâmetros não possuem informações suficientes para determinar a eficiência das ETAs do modelo, por isso foram excluídas da análise. O MCS admite, como requisito de domínio, que as variáveis de risco excluídas sempre se apresentam na água bruta em teores menores ou iguais aos estabelecidos na Portaria nº 518 (2004); não sendo necessário seu tratamento nas ETAs.

Tabela 1. Fatores, Variáveis e Indicadores para Seleção do Risco.

Fatores	Variáveis	Indicadores	
-Tipo de risco presente na fonte de abastecimento e importância sanitária	Risco microbiológico	Coliformes Totais	NMP/100mL
		<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL
-Quantificação do risco -Necessidade de monitoramento do risco na água bruta e na água tratada -Informação disponível para avaliar a eficiência das ETAs na remoção do risco	Risco físico	Turbidez	uT
		Cor Verdadeira	uH
		Ferro Total	mg/L
		Manganês Total	mg/L
	Avaliação das variáveis de risco	Independente	

Obs: O modelo avalia independentemente as variáveis de risco; assim, não considera conjugação de parâmetros de qualidade.

Variáveis e Indicadores de Eficiência das Tecnologias

Os processos e operações de tratamento que compõem as ETAs do MCS são indicados na Tabela 2. As técnicas foram selecionadas para combater o risco mostrado na Tabela 1, conforme as restrições da Tabela 3. No entanto, deve-se considerar que há inúmeras possibilidades de realizar os processos e as operações de tratamento de água; a existência de diferentes situações levará a várias concepções e hipóteses de projeto. Possivelmente seja viável o uso de unidades diferentes às utilizadas pelo modelo; por isso, recomenda-se ao projetista da ETA o estudo das circunstâncias que influenciam na seleção unidades, optando por aquelas que melhor se ajustem às características do sistema.

A Tabela 4 apresenta as variáveis e os indicadores selecionados pelo modelo para os fatores: qualidade da água bruta, vazão afluente à ETA, tipo de estação, produto químico utilizado no tratamento, transferência da tecnologia, legislação e particularidades da área de estudo.

As características gerais da água bruta a ser tratada pelas ETAs do MCS são indicadas na Tabela 5, as quais servem de referência para seleção das tecnologias, tendo como base os valores-limite das variáveis de risco da Tabela 1. Na análise, aplicam-se todos os requisitos de domínio estabelecidos na Tabela 4.

É importante ressaltar que na escolha das técnicas devem ser avaliadas as características da água (*in natura*) do manancial. O conhecimento dos dados de qualidade da água ao longo do tempo (pelo menos 1 ano) e o adequado tratamento estatístico das informações, juntamente com as recomendações de aplicações das tecnologias apresentadas na Tabela 5, podem conduzir o engenheiro à seleção preliminar das possíveis alternativas de tratamento. Entretanto, somente a partir de estudos de tratabilidade da água e de testes em instalação piloto será possível definir a ETA mais conveniente.

A qualidade da água bruta influencia diretamente a escolha da taxa de filtração a ser aplicada nas estações; para águas com valores muito próximos aos da Tabela 5 devem ser utilizadas as menores velocidades.

Na pesquisa foi verificado que existem dificuldades em definir-se os valores-limite das tecnologias na remoção, na água bruta, do ferro total, manganês total, cor verdadeira, coliformes totais e *Escherichia coli*, devido à falta de registros desses parâmetros na literatura e no monitoramento da maioria das ETAs avaliadas.

Verifica-se que alguns valores-limite indicados na Tabela 5 são diferentes ao sugeridos na literatura. A discrepância fundamenta-se, principalmente, nas diferenças existentes entre pesquisas, quanto ao meio filtrante, à taxa de filtração, ao método de operação, aos produtos químicos utilizados, às características da água bruta, aos materiais e métodos usados nas análises químicas, entre outros fatores.

Tabela 2. Tecnologias de Tratamento avaliadas pelo MCS

Fator	Variáveis		Indicadores
	ETA	Variações da Tecnologia	
Tecnologias de tratamento de água	Ciclo Completo (CC)	CC ₁	MRHVR + FHCEH + DAT + FRDC + DES + FLU
		CC ₂	MRHCP + FHCEH + DAT + FRDD + DES + FLU
		CC ₃	MRHVR + FMEVTI + FMEVPP + DAT + FRDC + DES + FLU
		CC ₄	MRHCP + FMEVTI + FMEVPP + DAT + FRDD + DES + FLU
	Filtração Direta Ascendente (FDA)	FDA ₁	MRHIM + FRAAGC + DES + FLU
	Filtração Direta Descendente (FDD)	FDD ₁	MRHIM + FRDC + DES + FLU
	Dupla Filtração (DF)	DF ₁	MRHIM + FAP + FRDC + DES + FLU
	Floto-Filtração (FF)	FF ₁	MRHVR + FMEVTI + FMEVPP + FAD + FRDC + DES + FLU
		FF ₂	MRHCP + FMEVTI + FMEVPP + FAD + FRDC + DES + FLU
	Filtração em Múltiplas Etapas (FiME)	FiME ₁	PFD + FLAC + DES + FLU
FiME ₂		PFD + PFVAC + FLAC + DES + FLU	
FiME ₃		PFD + PFVAS ₂ + FLAC + DES + FLU	

MRHVR: mistura rápida hidráulica com vertedor retangular.
 MRHCP: mistura rápida hidráulica com calha Parshall.
 MRHIM: mistura rápida hidráulica com injetor e malha de fios.
 FHCEH: floculador hidráulico de chicanas de escoamento horizontal.
 FMEVPP: floculador mecânico de eixo vertical de paletas
 FiME₁, FiME₂, FiME₃: opções da tecnologia de filtração em múltiplas etapas
 DAT: decantador de alta taxa ascendente de placas
 FAD: flotação por ar dissolvido com pressurização da recirculação
 FRDC: filtração rápida descendente em areia, a taxa constante.
 FRDD: filtração rápida descendente em areia, a taxa declinante.
 FRAAGC: filtração rápida ascendente em areia grossa, a taxa constante.
 FAP: filtração rápida ascendente em pedregulho, a taxa constante.
 FLAC: filtro lento em areia, a taxa constante.
 PFD: pré-filtro dinâmico de pedregulho, a taxa constante.
 PFVAC: pré-filtro vertical ascendente em camadas, a taxa constante.
 DES: desinfecção com hipoclorito de sódio.
 FLU: fluoração com ácido fluossilícico
 DF₁: opção da tecnologia de dupla filtração
 PFVAS₂: pré-filtro vertical ascendente em série de duas etapas, a taxa constante.
 FF₁, FF₂: opções da tecnologia de floto-filtração
 FMEVTI: floculador mecânico de eixo vertical de turbina.
 FDA₁: opção da tecnologia de filtração direta ascendente
 CC₁, CC₂, CC₃, CC₄ e CC₅: deferentes opções da tecnologia de ciclo completo.
 FDD₁: opção da tecnologia de filtração direta descendente

Constatou-se que as ETAs avaliadas pelo modelo têm diferentes graus de confiabilidade, dependendo do número de etapas que compõem o sistema. Evidentemente, sistemas mais robustos como CC₁ a CC₄, FF₁ a FF₂, e FiME₁ a FiME₂ são mais seguros, do ponto de vista sanitário, comparados com FDD₁, FDA₁, DF₁ e FiME₁, que somente utilizam uma ou duas unidades de filtração como única barreira de remoção do risco, antes da desinfecção. Neste contexto, o MCS selecionou os valores-limite da Tabela 5, conforme o conceito de múltiplas barreiras¹; assim, verificou-se que sistemas como filtração direta (FDD₁, FDA₁, DF₁) e FiME₁ possuem as menores frequências de ocorrência dos parâmetros na água bruta.

¹ No sistema de abastecimento de água, o conceito de múltiplas barreiras sugere a necessidade de haver mais de uma etapa de tratamento para alcançar condições de baixo risco; juntas devem, progressivamente, remover os contaminantes para produzir água de qualidade satisfatória e promover máxima proteção contra agentes de veiculação hídrica (SOLANO *et al.* 2000).

Tabela 3. Restrições dos Processos e das Operações de Tratamento de Água do MCS

Processos ou Operações	Restrições	Comentários
MRHVR	$Q_p \leq 40$ L/s	-A análise das características dos misturadores permitiu verificar que as unidades do tipo calha Parshall são pequenas para vazões inferiores a 40 L/s, dificultando sua construção.
MRHCP	$Q_p > 40$ L/s	- segundo justificativa apresentada na MRHVR
MRHIM	Somente para ETAs do tipo: FDD, FDA, DF	-A análise dos misturadores permitiu constatar que os injetores são unidades eficientes no mecanismo de coagulação por neutralização de cargas, segundo Vigneswaran <i>et al</i> (1995) e AWWA (1991).
FHCEH	$Q_p \leq 100$ L/s	-A avaliação dos misturadores permitiu verificar que os FHCEH são convenientes para ETAs com $Q_p \leq 100$ L/s porque facilita sua construção, comparando com as pequenas dimensões resultantes em unidades com chicanas de escoamento vertical, segundo Richter <i>et al</i> . (1991) e Di Bernardo <i>et al</i> (2005b).
FMEVTI	As duas primeiras câmaras do floculador com turbinas	-O MCS considerou quatro câmaras de mistura rápida com gradiente escalonado, segundo recomendação de Di Bernardo <i>et al</i> (2005a). As duas primeiras câmaras de floculação das ETAs de CC e FF são projetadas com $G_f > 30$ s ⁻¹ , precisando de unidades com turbinas, conforme sugestão de Di Bernardo <i>et al</i> (2005b).
	$G_f > 30$ s ⁻¹	-Os misturadores de turbina são recomendados para $G_f > 30$ s ⁻¹ , segundo Di Bernardo <i>et al</i> (2005b).
FMEVPP	As duas últimas câmaras do floculador com paletas	-O MCS considera quatro câmaras de mistura rápida com gradiente escalonado, segundo recomendação de Di Bernardo <i>et al</i> (2005a). As duas últimas câmaras de floculação das ETAs de CC e FF são projetadas com $G_f \leq 30$ s ⁻¹ , precisando de unidades com paletas, conforme sugestão de Di Bernardo <i>et al</i> (2005b).
	$G_f \leq 30$ s ⁻¹	-Os misturadores de paleta são recomendados para $G_f \leq 30$ s ⁻¹ , segundo Di Bernardo <i>et al</i> , 2005 b.
DAT	Ascendente com laminados de PVC	-O uso de DAT ascendente com placas de laminados de PVC foi somente para unificar os tipos de ETAs de CC.
FRAAGC	Taxa constante e nível variável	-O controle do filtro permite aproveitar os benefícios das descargas de fundo intermediarias.
FAP	Taxa constante e nível variável	-O controle do filtro permite aproveitar os benefícios das descargas de fundo intermediarias. -O uso de FAP foi considerado na DF pelas suas vantagens, comparado com filtros ascendentes em areia grossa.

MRHVR: mistura rápida hidráulica com vertedor retangular.

MRHCP: mistura rápida hidráulica com Calha Parshall.

MRHIM: mistura rápida hidráulica com injetor e malha.

FHCEH: floculador hidráulico de chicanas de escoamento horizontal.

FMEVTI: floculador mecânico de eixo vertical de turbina com paletas inclinadas.

FMEVPP: floculador mecânico de eixo vertical de paletas paralelas ao eixo

DAT: decantador de alta taxa com módulos tubulares.

FRAAGC: filtro rápido ascendente em areia grossa, a taxa constante

FAP: Filtro rápido ascendente em pedregulho, a taxa constante.

CC: tecnologia de ciclo completo

FDD: tecnologia de filtração direta descendente

FDA: tecnologia de filtração direta ascendente

FF: tecnologia de floto-filtração

DF: tecnologia de dupla filtração.

Gf: gradiente médio de floculação

Qp: vazão de projeto das ETAs

ETAs: estações de tratamento de água.

Tabela 3. Restrições dos Processos e das Operações de Tratamento de Água do MCS (Continuação)

Processos ou Operações	Restrições	Comentários
FAD	Recirculação do clarificado de até 15%	-Segundo recomendação de Di Bernardo <i>et al</i> (2005b)
FRDC	Na tecnologia de floto-filtração	-O método de controle do filtro permite a estabilidade do lodo flotado
FRDD	$Q_p \leq 40$ L/s	-Segundo recomendação de CINARA (2001)
PFD, FLA PFVAS ₂ PFVAC	Taxa constante e nível variável	-O método de controle é recomendado por PROSAB (1999)
DES	Hipoclorito de sódio	-A desinfecção com hipoclorito de sódio foi selecionada porque é simples o projeto do sistema; condizente com ETAs de pequeno e médio porte.
FLU	Ácido fluorsilícico	-A fluoração com ácido fluossilícico foi escolhida, porque o produto químico é comumente utilizado nas ETAs brasileiras, conforme dados do IBGE (2002).

FAD: flotação por ar dissolvido com pressurização da recirculação.

FRDC: filtração rápida descendente em areia, a taxa constante.

FRDD: Filtro rápido descendente em areia, a taxa declinante.

PFD: pré-filtro dinâmico de pedregulho, a taxa constante.

FLA: filtro lento em areia a taxa constante.

PFVAC: pré-filtro vertical ascendente de pedregulho em camadas, a taxa constante.

PFVAS₂: pré-filtro vertical ascendente de pedregulho em série de duas etapas, a taxa constante

DES: desinfecção com hipoclorito de sódio.

FLU: fluoração com ácido fluossilícico.

FIME: tecnologia de filtração em múltiplas etapas

Q_p: vazão de projeto das ETAs

ETAs: estações de tratamento de água.

Tabela 4. Variáveis e Indicadores Considerando Qualidade da Água Bruta, Vazão Afluente à ETA, Tipo de Estação, Produto Químico Utilizado no Tratamento, Transferência da Tecnologia, Legislação e Particularidades da Área de Estudo

Fatores	Variáveis	Indicadores
Qualidade da água bruta	Qualidade da água bruta até o horizonte de projeto das ETAs	Constante
Vazão afluente à ETA	Vazão afluente à ETA até o horizonte de projeto dos sistemas	Constante
Tipo de ETA	Categoria das ETAs avaliadas pelo MCS	Fase de Projeto (novas)
Produto químico utilizado no tratamento	Coagulante	Sulfato de alumínio líquido Cloreto férrico
	Desinfetante	Hipoclorito de Sódio
	Produto químico para fluoração	Acido fluossilícico
Transferência de tecnologia	Conhecimento das técnicas pelos engenheiros projetistas locais, de comunidades de pequeno e médio porte.	Ampla
Legislação	NBR 12211 (1992) e NBR 12216 (1992), Portaria n° 518 (2004), Resolução CONAMA n° 357 (2005)	Qualidade da água conforme legislação
Particularidades da área de estudo	Tipo de comunidade	Pequeno e médio porte
	Acesso à população e à ETA por via terrestre, aérea, marítima e/ou fluvial.	Fácil
	Recursos financeiros	Suficientes
	Desenvolvimento tecnológico para projeto e construção das unidades de tratamento selecionadas pelo modelo.	Excelente
	Disponibilidade de energia elétrica para funcionamento da ETA	Contínua e Suficiente
	Disponibilidade de materiais de construção	Suficiente
	Disponibilidade de pessoal qualificado para operação e manutenção dos componentes da ETA	Suficiente
	Disponibilidade de área para implantação da ETA	Suficiente

Tabela 5. Desempenho das ETAs sem Pré-Desinfecção, Oxidação e Adsorção

Variáveis	Indicadores (Eficiência das ETAs) ***						
	Tipos de ETAs						
	FDD ₁	FDA ₁	DF ₁	FiME ₁	FiME ₂ , FiME ₃	FF ₁ , FF ₂	CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ , CC ₄
	Frequência de ocorrência da variável na água bruta						
Turbidez (uT)	100% ≤ 50	100% ≤ 50	100% ≤ 200	100% ≤ 25	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 500
	95% ≤ 30	95% ≤ 30	95% ≤ 150	95% ≤ 15	95% ≤ 50	95% ≤ 60	
	90% ≤ 20	90% ≤ 20	90% ≤ 100	90% ≤ 10	90% ≤ 30	90% ≤ 40	
Cor Verdadeira (uH)	100% ≤ 50	100% ≤ 50	100% ≤ 100	100% ≤ 20	100% ≤ 20	100% ≤ 200	100% ≤ 250
	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 75	95% ≤ 15	95% ≤ 15	95% ≤ 100	
	90% ≤ 20	90% ≤ 20	90% ≤ 50	90% ≤ 10	90% ≤ 10	90% ≤ 50	
Ferro Total (mg/L)	100% ≤ 10	100% ≤ 10	100% ≤ 10	100% ≤ 2	100% ≤ 5	100% ≤ 10	100% ≤ 10
	95% ≤ 5	95% ≤ 5	95% ≤ 5	95% ≤ 1,5	95% ≤ 4	95% ≤ 5	
	90% ≤ 2	90% ≤ 2	90% ≤ 2	90% ≤ 1	90% ≤ 2	90% ≤ 2	
Manganês Total (mg/L)	100% ≤ 2	100% ≤ 2	100% ≤ 2	100% ≤ 0,7	100% ≤ 1,0	100% ≤ 2	100% ≤ 2
	95% ≤ 1	95% ≤ 1	95% ≤ 1	95% ≤ 0,5	95% ≤ 0,6	95% ≤ 1	
	90% ≤ 0,5	90% ≤ 0,5	90% ≤ 0,5	90% ≤ 0,2	90% ≤ 0,3	90% ≤ 0,5	
Coliformes Totais (NMP/100mL)	100% ≤ 2500	100% ≤ 2500	100% ≤ 5000	100% ≤ 10000	100% ≤ 20000	100% ≤ 5000	100% ≤ 20000
	95% ≤ 1500	95% ≤ 1500	95% ≤ 2500	95% ≤ 5000	95% ≤ 15000	95% ≤ 2500	
	90% ≤ 1000	90% ≤ 1000	90% ≤ 1500	90% ≤ 2500	90% ≤ 10000	90% ≤ 1500	
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	100% ≤ 1000	100% ≤ 1000	100% ≤ 1500	100% ≤ 5000	100% ≤ 10000	100% ≤ 1500	100% ≤ 10000
	95% ≤ 750	95% ≤ 750	95% ≤ 1000	95% ≤ 2500	95% ≤ 5000	95% ≤ 1000	
	90% ≤ 500	90% ≤ 500	90% ≤ 500	90% ≤ 500	90% ≤ 1000	90% ≤ 500	
Taxa de Filtração (m ³ /m ² dia)*	FRD: 200 a 300**	FRA: 120 a 240	FAP: 80 a 180 FRD: 120 a 240	PFD: 12 a 36 FLA: 2 a 6	PFD: 12 a 36 PFVA: 12 a 24 FLA: 2 a 6	FRD: 150 a 300** TR: 8 a 15%	FRD: 150 a 300**

FDD₁: tipo de tecnologia de filtração direta descendente

DF₁: tipo de tecnologia de dupla filtração

FiME₁, FiME₂, FiME₃: tipos de tecnologias de filtração em múltiplas etapas.

* Taxa de filtração recomendada por Di Bernardo *et al* (2005)

** Taxas de filtração fixadas conforme experiências obtidas em ETAs em escala real e piloto.

*** Valores superiores aos recomendados poderão ser adotados desde que seja comprovada, experimentalmente, a eficiência do sistema por meio de estudos de tratabilidade da água e pesquisas em instalação piloto.

FAP: filtro ascendente em pedregulho

FRD: filtro rápido descendente

FRA: filtro rápido ascendente

PFD: pré-filtro dinâmico

FLA: filtro lento em areia

PFVA: pré-filtro vertical ascendente em camadas ou em série

A Tabela 6 apresenta os limites de vazão das ETAs avaliadas pelo MCS. Na análise foram consideradas as capacidades dos sistemas no ano base (vazão correspondente à demanda de água em $t = 0$) e ao final do horizonte de projeção (vazão correspondente à demanda da água em $t = 20$ anos). As decisões foram adotadas considerando as restrições estabelecidas nas Tabelas 3.

Tabela 6 Variáveis e Indicadores Segundo Restrições de Vazão nas ETAs

Variáveis		Indicadores	
Vazão de projeto no ano base (Q_0)	Vazão de projeto ao final do horizonte de projeção (Q_h)	Tecnologia sustentável	Tipo
$Q_0 > 100$ L/s ou $Q_0 < 10$ L/s	Qualquer valor de Q_h	Nenhuma avaliada pelo MCS	
Qualquer valor de Q_0	$Q_h > 100$ L/s ou $Q_h < 10$ L/s		
10 L/s $\leq Q_0 < 40$ L/s	10 L/s $\leq Q_h < 40$ L/s	Ciclo completo	CC ₁ , CC ₃
		Filtração direta ascendente	FDA ₁
		Filtração direta descendente	FDD ₁
		Dupla filtração	DF ₁
		Floto-filtração	FF ₁
		Filtração em múltiplas etapas	FiME ₁ , FiME ₂ , FiME ₃
$Q_0 = 40$ L/s	$Q_0 = 40$ L/s	Ciclo completo	CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ , CC ₄
		Filtração direta ascendente	FDA ₁
		Filtração direta descendente	FDD ₁
		Dupla filtração	DF ₁
		Floto-filtração	FF ₁ , FF ₂
		Filtração em múltiplas etapas	FiME ₁ , FiME ₂ , FiME ₃
40 L/s $< Q_0 \leq 100$ L/s	40 L/s $< Q_h \leq 100$ L/s	Ciclo completo	CC ₂ , CC ₄
		Filtração direta ascendente	FDA ₁
		Filtração direta descendente	FDD ₁
		Dupla filtração	DF ₁
		Floto-filtração	FF ₂
10 L/s $\leq Q_0 < 40$ L/s	40 L/s $< Q_h \leq 100$ L/s	Filtração direta ascendente	FDA ₁
		Filtração direta descendente	FDD ₁
		Dupla filtração	DF ₁
40 L/s $< Q_0 \leq 100$ L/s	10 L/s $\leq Q_h < 40$ L/s	Filtração direta ascendente	FDA ₁
		Filtração direta descendente	FDD ₁
		Dupla filtração	DF ₁

Modelo Conceitual de Seleção

A interação entre os fatores, as variáveis e os indicadores permitiram a estruturação do MCS. As Figuras 1 a 4 apresentam o diagrama de blocos, composto por quinze sub-níveis, os quais progressivamente selecionam as ETAs com maiores probabilidades de sustentabilidade. A seguir são apresentados os dados de entrada (F), os critérios (A), procedimentos (B) e seleções (S) necessárias para aplicar o MCS.

Formatos de Entrada de dados (F), Critérios (A), Procedimentos (B), Seleções (S)

Atividades F

F.1. Informações do Tipo de ETA

Indique o tipo de ETA a ser estudada pelo MCS:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Filtração direta descendente – FDD | <input type="checkbox"/> Filtração direta ascendente – FDA |
| <input type="checkbox"/> Dupla filtração – DF | <input type="checkbox"/> Ciclo completo – CC |
| <input type="checkbox"/> Floto-filtração – FF | <input type="checkbox"/> Filtração em múltiplas etapas – FiME |
| <input type="checkbox"/> Outra, qual: _____ | |

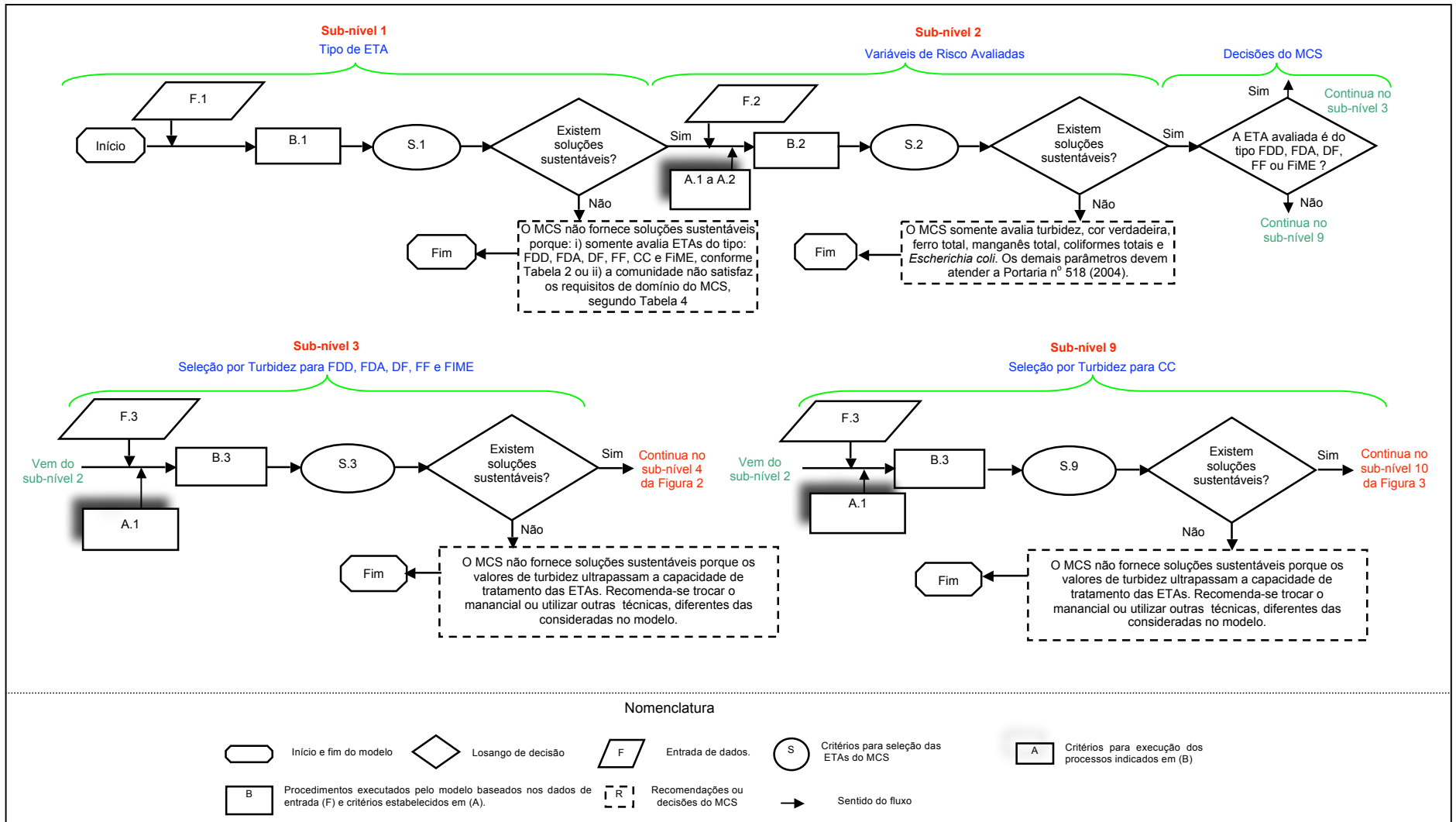


Figura 1. Diagrama de Blocos do Modelo Conceitual de Seleção Considerando Risco Físico e Eficiência das Tecnologias

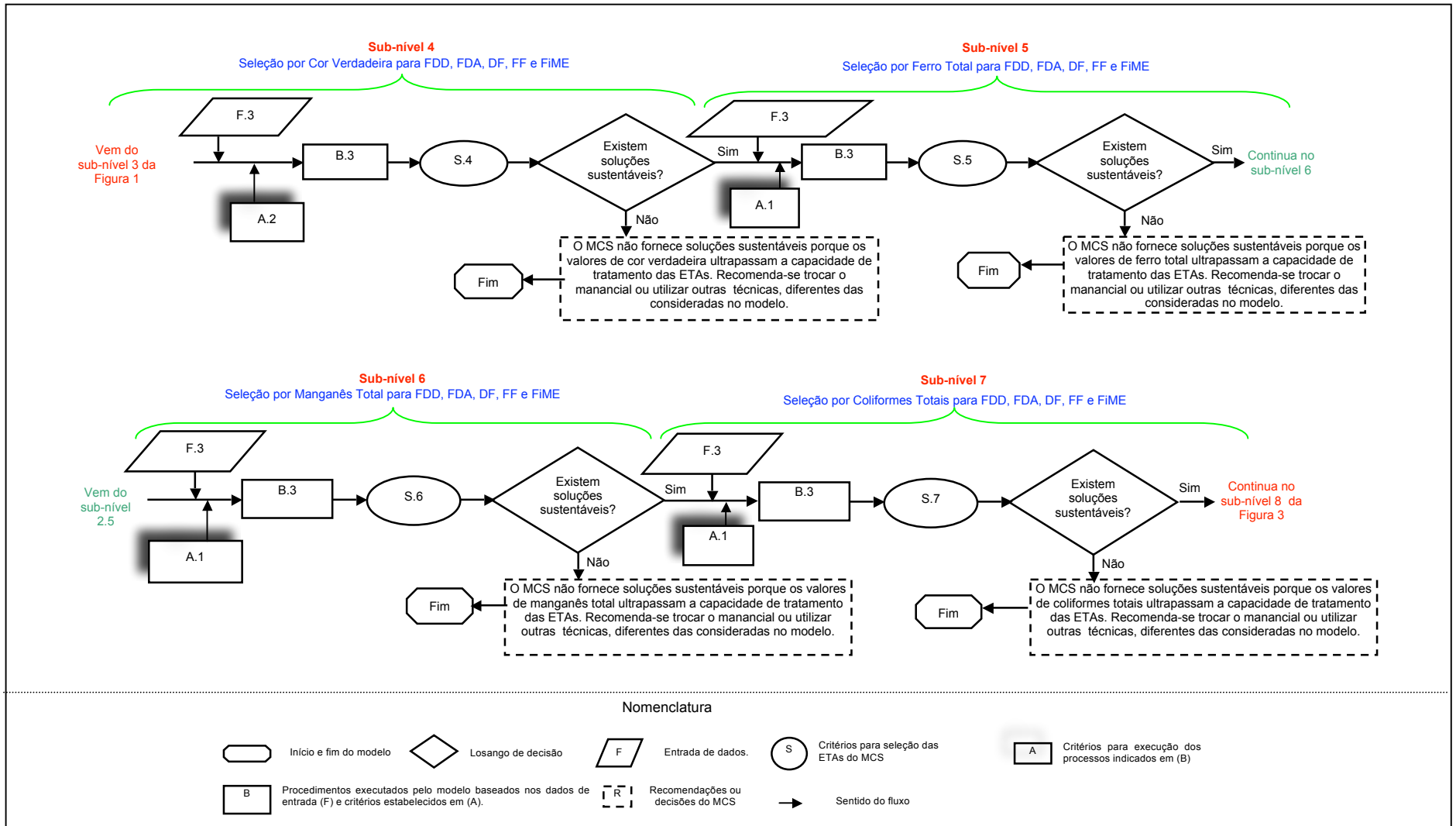


Figura 2. Diagrama de Blocos do Modelo Conceitual de Seleção Considerando Risco Físico e Eficiência das Tecnologias até Sub-Nível 7

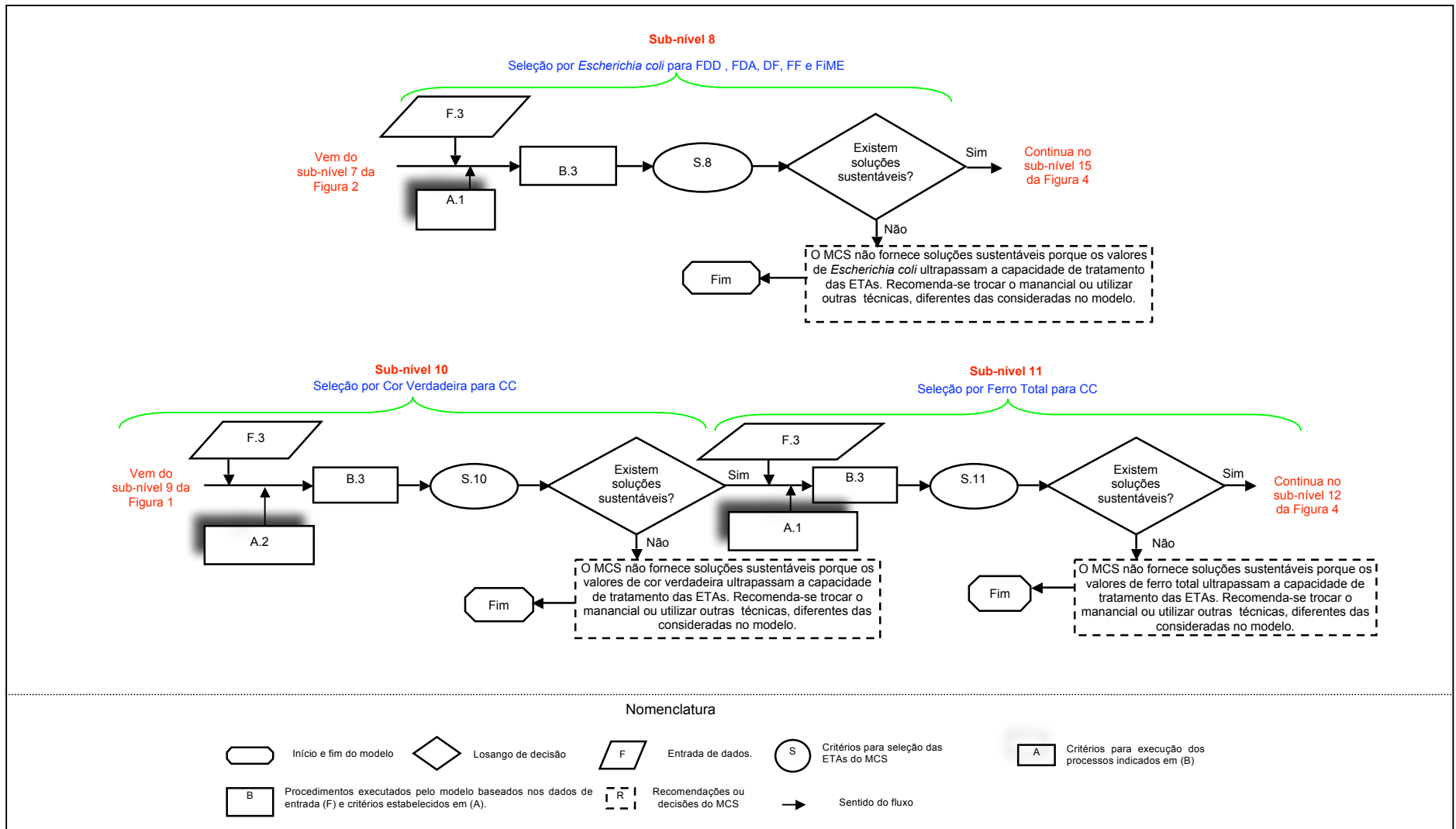


Figura 3. Diagrama de Blocos do Modelo Conceitual de Seleção Considerando Risco Físico e Eficiência das Tecnologias até Sub-Nível 11

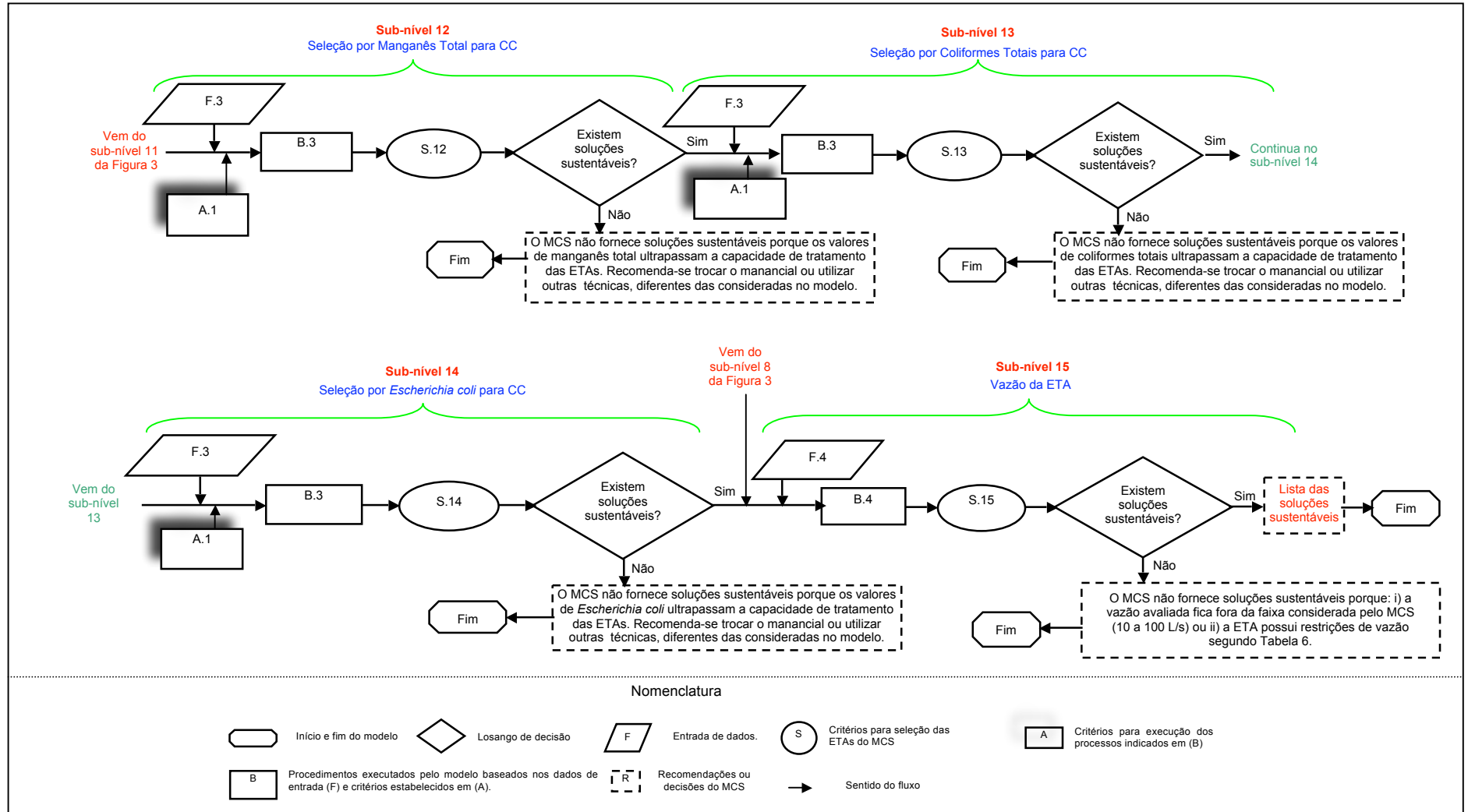


Figura 4 . Diagrama de Blocos do Modelo Conceitual de Seleção Considerando Risco Físico e Eficiência das Tecnologias até Sub-Nível 15

As características da área de estudo se adéquam aos requisitos de domínio do modelo indicados na Tabela 4?

Sim Não

F.2. Informações Disponíveis de Qualidade da Água

Indique as variáveis de risco a serem avaliadas:

Turbidez (uT) Cor Verdadeira (uH) Ferro Total (mg/L)
 Manganês Total (mg/L) Coliformes Totais (NMP/100mL)
 Escherichia coli (NMP/100mL) Outros, indique: _____

Os parâmetros de qualidade da água bruta, diferentes a turbidez, cor verdadeira, ferro total, manganês total, coliformes totais e *Escherichia coli*, possuem sempre teores (frequência de ocorrência do 90%, 95% e 100%) inferiores ou iguais valores máximos permitidos pela Portaria n° 518 (2004)?

Sim Não

F.3. Informações Disponíveis de Turbidez, Cor Verdadeira, Ferro Total Manganês Total, Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Após análise estatística dos dados, a seguir, indique a frequência de ocorrência dos parâmetros na Tabela F.1.

Tabela F.1. Frequência de Ocorrência das Variáveis de Risco na Água Bruta

Frequência de ocorrência do parâmetro	Parâmetro					
	Turbidez (uT)	Cor Verdadeira (uC)	Ferro Total (mg/L)	Manganês total (mg/L)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)
100 %						
95 %						
90 %						

F.4. Informações de Vazão da ETA

Indique a vazão de projeto da ETA no ano base² (Q_o): _____ L/s

Indique a vazão da ETA no horizonte de projeção³ (Q_h): _____ L/s

Atividades A

A.1. Padrão Brasileiro de Potabilidade (Portaria n° 518 de 2004)⁴

Apresenta-se nas Tabelas A.1 a A.5 os requerimentos da Portaria n° 518 de 2004 para as variáveis de risco avaliadas pelo MCS.

A.2. Normas da Organização Mundial da Saúde – OMS (2004) para Cor Verdadeira

A Organização Mundial da Saúde admite até 15 uC de cor verdadeira na água tratada. Para mais detalhes consultar OMS (2004).

² Vazão no ano base: vazão correspondente à demanda de água em t = 0

³ Vazão no horizonte de projeção: vazão correspondente à demanda da água em t = 20 anos

⁴ Para maiores detalhes, consultar a Portaria n° 518 (2004).

Tabela A.1. Padrão Microbiológico

Parâmetro	VMP
Água para consumo humano*	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes**	Ausência em 100 mL
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes**	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês; Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 mL

Obs: VMP: Valor máximo permitido, * Água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, ** A detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

Tabela A.2. Padrão de Turbidez Conforme Tipo de Tratamento

Tratamento da água	Valor Máximo Permitido
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 uT em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1,0 uT
Filtração lenta	2,0 uT em 95% das amostras

Tabela A.3. Padrão de Substâncias Químicas de Risco à Saúde

Parâmetro (Variável)	Unidade (Indicador)	Valor Máximo Permitido
Inorgânicas		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cianeto	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto*	mg/L	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01
Orgânicas		
Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	5
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	µg/L	30
Diclorometano	µg/L	20
Estireno	µg/L	20
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2
Tetracloroetano	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroetano	µg/L	70
Agrotóxicos		
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Bentazona	µg/L	300
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2

* Os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto devem observar à legislação específica vigente relativa à fluoretação da água, em qualquer caso devendo ser respeitado o VMP

Tabela A.3. Padrão de Substâncias Químicas de Risco à Saúde (Continuação)

Parâmetro (Variável)	Unidade (Indicador)	Valor Máximo Permitido
Agrotóxicos		
2,4 D	µg/L	30
DDT (isômeros)	µg/L	2
Endossulfan	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato	µg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	µg/L	1
Lindano (g-BHC)	µg/L	2
Metolacloro	µg/L	10
Metoxicloro	µg/L	20
Molinato	µg/L	6
Pendimetalina	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Permetrina	µg/L	20
Propanil	µg/L	20
Simazina	µg/L	2
Trifluralina	µg/L	20
Cianotoxinas		
Microcistinas*	µg/L	1,0
Desinfetantes e Produtos Secundários da Desinfecção		
Bromato	mg/L	0,025
Clorito	mg/L	0,2
Cloro livre**	mg/L	5
Monocloramina	mg/L	3
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1

*É aceitável a concentração de até 10 µg/L de microcistinas em até 3 (três) amostras, consecutivas ou não, nas análises realizadas nos últimos 12 (doze) meses. ** Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado

Tabela A.4. Padrão de Aceitação para Consumo Humano

Padrão Físico-químico		
Parâmetro (Variável)	Unidade (Indicador)	VMP
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH*	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável *
Gosto	-	Não objetável *
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	uT	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

Obs: VMP: Valor máximo permitido, uT: Unidade de turbidez, *Critério de referência, uH: Unidade Hazen (mg PtCo/L)

Tabela A.5. Padrão de Radioatividade

Parâmetro (Variável)	Unidade (Indicador)	VMP
Radioatividade alfa global	BQ/L	0,1*
Radioatividade beta global	BQ/L	1,0*

Obs: VMP: valor máximo permitido

*Se os valores encontrados forem superiores aos VMP, deverá ser feita a identificação dos radionuclídeos presentes e a medida das concentrações respectivas. Nesses casos, deverão ser aplicados, para os radionuclídeos encontrados, os valores estabelecidos pela legislação pertinente da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, para se concluir sobre a potabilidade da água.

Atividades B

B.1. Critérios Conforme Tipo de ETA

O MCS somente avalia as tecnologias indicadas na Tabela 2, conforme requisitos estabelecidos na Tabela 4.

B.2. Critérios Conforme Informação Disponível de Qualidade da Água

O engenheiro projetista deve realizar um estudo detalhado da qualidade da água bruta, por meio de testes de laboratório e, se for possível, em instalação piloto. Na análise, deve ser avaliado um período mínimo de um ano, abrangendo todas as condições climáticas da região (chuva, seca e situações extremas).

Após as atividades anteriores, deve ser realizado um estudo estatístico dos dados obtidos, calculando a frequência de ocorrência do parâmetro (90%, 95% e 100%) para as tecnologias de FDD, FDA, DF, FF e FiME. O sistema de ciclo completo somente requer o valor pico registrado (frequência de 100%).

No caso de apresentarem teores superiores aos valores máximos permitidos pela Portaria nº 518 (2004) em parâmetros diferentes: turbidez, cor verdadeira, ferro total, manganês total, coliformes totais e *Escherichia coli*, o MCS não fornece solução.

B.3. Critérios Conforme Valores de Turbidez, Cor Verdadeira, Ferro Total, Manganês Total, Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

A seleção da técnica deve atender as restrições estabelecidas na Tabela 5.

B.4. Critérios Segundo Restrições de Vazão das ETAs

A escolha da tecnologia deve cumprir as restrições estabelecidas na Tabela 6.

Atividades S

S.1. Seleção Conforme Tipo de ETA

Variáveis	Indicadores	Tecnologias Sustentáveis
Tipo de ETA	FDD, FDA, DF, FF, CC e FiME	CC ₁ a CC ₄ , FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
	Outra	Não existem soluções técnicas sustentáveis, porque a tecnologia estudada não é considerada pelo MCS.
Características da área de estudo estão conforme os requisitos de domínio do MCS?	Sim	CC ₁ a CC ₄ , FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
	Não	Não existem soluções técnicas sustentáveis porque a comunidade não apresenta características compatíveis com as técnicas avaliadas pelo MCS.

S.2. Seleção Conforme Informação Disponível de Qualidade da Água

Variável	Indicadores	Tecnologias Sustentáveis	
Turbidez	uT	CC ₁ a CC ₄ , FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃	
Cor Verdadeira	uH		
Ferro Total	mg/L		
Manganês Total	mg/L		
Coliformes Totais	NMP/100mL		
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL		
Outros Parâmetros (diferentes de: turbidez, cor verdadeira, ferro total, manganês total, coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>)	Todas as frequências de ocorrência dos parâmetros (90%, 95% e 100%) possuem níveis menores ou iguais aos estabelecidos na Portaria nº 518 (2004)?	Sim	O MCS fornece soluções sustentáveis, consideram-se as técnicas de CC, FDD, DF, FDA, FF e FiME da Tabela 2 para tratar o risco indicado na Tabela 1.
		Não	O MCS não fornece soluções sustentáveis. Recomenda-se o estudo de outra fonte de abastecimento ou a consulta com peritos na área.

S.3. Seleção Conforme Valores de Turbidez para as Tecnologias do Tipo FDD, FDA, DF, FF e FiME

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Frequência de ocorrência	Valor (uT)	
Turbidez	90%	≤ 10	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(10 – 20]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(20 – 30]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(30 – 40]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		(40-100]	DF ₁
	95%	>100	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de turbidez ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
		≤ 15	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(15 – 30]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(30 – 50]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(50 – 60]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
	100%	(60-150]	DF ₁
		>150	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de turbidez ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
		≤ 25	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(25 – 50]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(50 – 100]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
	(100 – 200]	DF ₁	
	>200	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de turbidez ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.	

Obs: Para que as tecnologias de FDD, FDA, DF, FF e FiME sejam sustentáveis, devem atender simultaneamente as restrições estabelecidas em cada frequência de ocorrência (90%, 95% e 100%).

S.4. Seleção Conforme Valores de Cor Verdadeira para as Tecnologias do Tipo FDD, FDA, DF, FF e FiME

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Freqüência de ocorrência	Valor (uH)	
Cor Verdadeira	90%	≤ 10	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(10 – 20]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		(20 – 50]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ ,
		>50	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de cor verdadeira ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
	95%	≤ 15	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(15 – 25]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		(25 – 75]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		(75 – 100]	FF ₁ a FF ₂
	100%	≤ 20	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(20 – 50]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		(50 – 100]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		(100 – 200]	FF ₁ a FF ₂
		>200	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de cor verdadeira ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

Obs: Para que as tecnologias de FDD, FDA, DF, FF e FiME sejam sustentáveis, devem atender simultaneamente as restrições estabelecidas em cada freqüência de ocorrência (90%, 95% e 100%).

S.5. Seleção Conforme Valores de Ferro Total para as Tecnologias do Tipo FDD, FDA, DF, FF e FiME

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Freqüência de ocorrência	Valor (mg/L)	
Ferro Total	90%	≤ 1	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(1 – 2]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		>2	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de ferro total ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
	95%	≤ 1,5	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(1,5 – 4]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(4 – 5]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
	100%	>5	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de ferro total ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
		≤ 2	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(2 – 5]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(5 – 10]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		>5	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de ferro total ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

Obs: Para que as tecnologias de FDD, FDA, DF, FF e FiME sejam sustentáveis, devem atender simultaneamente as restrições estabelecidas em cada freqüência de ocorrência (90%, 95% e 100%).

S.6. Selección Conforme Valores de Manganês Total para as Tecnologias do Tipo FDD, FDA, DF, FF e FiME

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Freqüência de ocorrência	Valor (mg/L)	
Manganês Total	90%	≤ 0,2	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(0,2 – 0,3]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(0,3 – 0,5]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		>0,5	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de manganês total ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
	95%	≤ 0,5	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(0,5 – 0,6]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(0,6 – 1,0]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		>1	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de manganês total ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
	100%	≤ 0,7	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(0,7 – 1,0]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₂ a FiME ₃
		(1,0– 2,0]	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂
		>2	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de manganês total ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

Obs: Para que as tecnologias de FDD, FDA, DF, FF e FiME sejam sustentáveis, devem atender simultaneamente as restrições estabelecidas em cada freqüência de ocorrência (90%, 95% e 100%).

S.7. Selección Conforme Valores de Coliformes Totais para as Tecnologias do Tipo FDD, FDA, DF, FF e FiME

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Freqüência de ocorrência	Valor (NMP/100mL)	
Coliformes Totais	90%	≤ 1000	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(1000 – 1500]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(1500 – 2500]	FiME ₁ a FiME ₃
		(2500 – 10000]	FiME ₂ a FiME ₃
	95%	>10000	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de coliformes totais ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
		≤ 1500	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(1500 – 2500]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(2500 – 5000]	FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
	100%	(5000 – 15000]	FiME ₂ a FiME ₃
		>15000	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de coliformes totais ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.
		≤ 2500	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
		(2500 – 5000]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
	(5000 – 10000]	FiME ₁ a FiME ₃	
	(10000 – 20000]	FiME ₂ a FiME ₃	
	>20000	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de coliformes totais ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.	

Obs: Para que as tecnologias de FDD, FDA, DF, FF e FiME sejam sustentáveis, devem atender simultaneamente as restrições estabelecidas em cada freqüência de ocorrência (90%, 95% e 100%).

S.8. Seleção Conforme Valores de *Escherichia coli* para as Tecnologias do Tipo FDD, FDA, DF, FF e FiME

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis	
	Frequência de ocorrência	Valor (NMP/100mL)		
<i>Escherichia coli</i>	90%	≤ 500	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃	
		(500 – 1000]	FiME ₂ a FiME ₃	
		>1000	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de <i>Escherichia coli</i> ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.	
	95%	≤ 750	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃	
		(750 – 1000]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃	
		(1000 – 2500]	FiME ₁ a FiME ₃	
		(2500 – 5000]	FiME ₂ a FiME ₃	
	100%	>5000	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de <i>Escherichia coli</i> ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.	
			≤ 1000	FDD ₁ , FDA ₁ , DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
			(1000– 1500]	DF ₁ , FF ₁ a FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
			(1500 – 5000]	FiME ₁ a FiME ₃
		(5000 – 10000]	FiME ₂ a FiME ₃	
	>10000	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de <i>Escherichia coli</i> ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.		

Obs: Para que as tecnologias de FDD, FDA, DF, FF e FiME sejam sustentáveis, devem atender simultaneamente as restrições estabelecidas em cada frequência de ocorrência (90%, 95% e 100%).

S.9. Seleção Conforme Valores de Turbidez para as Tecnologias do Tipo CC

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Frequência de ocorrência	Valor (uT)	
Turbidez	100%	≤ 500	CC ₁ a CC ₄
		> 500	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de turbidez ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

S.10. Seleção Conforme Valores de Cor Verdadeira para as Tecnologias do Tipo CC

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Frequência de ocorrência	Valor (uH)	
Cor Verdadeira	100%	≤ 250	CC ₁ a CC ₄
		> 250	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de cor verdadeira ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

S.11. Seleção Conforme Valores de Ferro Total para as Tecnologias do Tipo CC

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Frequência de ocorrência	Valor (mg/L)	
Ferro Total	100%	≤ 10	CC ₁ a CC ₄
		> 10	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de ferro total ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

S.12. Seleção Conforme Valores de Manganês Total para as Tecnologias do Tipo CC

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Frequência de ocorrência	Valor (mg/L)	
Manganês Total	100%	≤ 2	CC ₁ a CC ₄
		> 2	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de manganês total ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

S.13. Seleção Conforme Valores de Coliformes Totais para as Tecnologias do Tipo CC

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Frequência de ocorrência	Valor (NMP/100mL)	
Turbidez	100%	≤ 20000	CC ₁ a CC ₄
		> 20000	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de coliformes totais ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

S.14. Seleção Conforme Valores de *Escherichia coli* para as Tecnologias do Tipo CC

Variável	Indicadores		Tecnologias Sustentáveis
	Frequência de ocorrência	Valor (NMP/100mL)	
Turbidez	100%	≤ 10000	CC ₁ a CC ₄
		> 10000	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque os valores de <i>Escherichia coli</i> ultrapassam a capacidade de tratamento das ETAs. Recomenda-se trocar o manancial ou utilizar outras técnicas de tratamento, diferentes das avaliadas pelo modelo.

S.15. Seleção Conforme Restrições de Vazão das ETAs

Variáveis		Indicadores
Vazão de projeto no ano base (Q ₀)	Vazão de projeto ao final do horizonte de projeção (Q _h)	Tecnologia sustentável
Q ₀ > 100 L/s ou Q ₀ < 10 L/s	Qualquer valor de Q _h	O MCS não fornece soluções sustentáveis porque a vazão avaliada fica fora da faixa considerada pelo modelo (10 a 100 L/s).
Qualquer valor de Q ₀	Q _h > 100 L/s ou Q _h < 10 L/s	
10 L/s ≤ Q ₀ < 40 L/s	10 L/s ≤ Q _h < 40 L/s	CC ₁ , CC ₃ , FDA ₁ , FDD ₁ , DF ₁ , FF ₁ , FiME ₁ a FiME ₃
Q ₀ = 40 L/s	Q ₀ = 40 L/s	CC ₁ a CC ₄ , FDA ₁ , FDD ₁ , DF ₁ , FF ₁ , FF ₂ , FiME ₁ a FiME ₃
40 L/s < Q ₀ ≤ 100 L/s	40 L/s < Q _h ≤ 100 L/s	CC ₂ , CC ₄ , FDA ₁ , FDD ₁ , DF ₁ , FF ₂
10 L/s ≤ Q ₀ < 40 L/s	40 L/s < Q _h ≤ 100 L/s	FDA ₁ , FDD ₁ , DF ₁
40 L/s < Q ₀ ≤ 100 L/s	10 L/s ≤ Q _h < 40 L/s	FDA ₁ , FDD ₁ , DF ₁

CONCLUSÕES

Constatou-se que as ETAs avaliadas pelo modelo têm diferentes graus de confiabilidade, dependendo do número de etapas que compõem o sistema. Evidentemente, sistemas mais robustos como ciclo completo, floto-filtração e filtração em múltiplas etapas (FIME₂ e FIME₃) são mais seguros, do ponto de vista sanitário, ao serem comparados com tecnologias de filtração direta e FiME₁, que somente utilizam uma ou duas unidades de filtração como única barreira de remoção do risco, antes da desinfecção.

Verificou-se, também, haver dificuldade em definir os valores-limite das tecnologias na remoção de ferro total, manganês total, cor verdadeira, coliformes totais e *Escherichia coli*, devido à falta de registros desses parâmetros na literatura e no monitoramento da maioria das ETAs analisadas.

A aplicabilidade do MCS está restrita à ETAs que cumpram todos os requisitos de domínio do modelo. No entanto, esses requisitos não eliminam a responsabilidade do engenheiro projetista em avaliar todas as formas de riscos presentes na água e em analisar a possibilidade de utilizar outras técnicas de tratamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão da bolsa de estudo de doutorado.

REFERÊNCIAS

1. AWWA (1991). Mixing in Coagulation and Flocculation. Denver. USA. 426 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT: NBR 12216 (1992). Projeto de Estações de Tratamento de Água para Abastecimento Público. Abril. 18 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT: NBR 12211(1992). Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Abril. 10 p.
4. CINARA (2001). Modelo Conceptual Para la Selección de Tecnología en Sistemas de potabilización de Agua. Proyecto de Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua. Cali. Colombia.
5. DI BERNARDO, L; BOTARI, A; SABOGAL-PAZ, L.P (2005a). Uso da Modelação Matemática para Projeto de Câmaras Mecanizadas de Floculação em Série em Estações de Tratamento de Água. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 10 – No 1 – jan/mar. p 82 -90. ABES.
6. DI BERNARDO, L; DI BERNARDO, A (2005b). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2ª Edição.
7. OMS (2004). Guidelines for Drinking-Water Quality. Recommendation. Volume 1, Geneva. 494p.
8. PORTARIA Nº 518, de 25 de março de 2004. Padrão de Potabilidade. Ministério da Saúde.
9. PROSAB (1999). Tratamento de água para abastecimento por filtração lenta. ABES. RiMa. 114p.
10. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005.
11. RICHTER, C. AZEVEDO NETTO, J. M (1991). Tratamento de Água Tecnologia Atualizada. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. Brasil. 332 p.
12. SOLANO. C. A.; SABOGAL, L. P.; GALVIS. A.; LATORRE. J (2000). El Riesgo Sanitario y la Eficiencia de las Tecnologías en la Selección de Tecnología para Potabilización del Agua. Seminario Taller Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad de Agua. Cali, Colombia.
13. VIGNESWARAN, S; VISVANATHAN, C (1995) Water Treatment Processes: Simple Options. CRC Press Inc. Florida. USA. 215 p.