

Método baseado em indicadores de sustentabilidade para escolha de estações de tratamento de esgoto

Method based on technology library for sustainability assessment of wastewater treatment plants

RESUMO

A incorporação da avaliação de sustentabilidade no processo decisório está se tornando uma tarefa fundamental no âmbito da gestão das águas. No entanto, quantificar ou operacionalizar a sustentabilidade pode ser um processo discutível. O papel dos indicadores de sustentabilidade é estruturar e comunicar informações sobre questões-chave e tendências consideradas relevantes para a tomada de decisão. Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa é apresentar um método baseado em indicadores para a avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto na fase de projeto. Para isto, o conceito de biblioteca de tecnologia foi escolhido para agregar os parâmetros econômicos, sociais e ambientais dessas estações. O método aqui proposto demonstrou ter potencial para ser utilizado nas avaliações de sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto.

PALAVRAS-CHAVE: biblioteca de tecnologias; sustentabilidade; tratamento de esgoto

ABSTRACT

The incorporation of sustainability assessment in decision-making has become fundamental in the context of water management. However, it is difficult to quantify sustainability. The role of sustainability indicators is to communicate information, key issues and trends that are relevant to decision making. Considering these difficulties, the objective of this research is to present a method based on sustainability indicators to assess the sustainability of wastewater treatment plants performance at the design phase. For this, the concept of a technology library is used to aggregate the economic, social and environmental impacts of these plants. The method proposed here proved to have potential to be used in sustainability assessments.

KEYWORDS: library of technology, sustainability, sewage treatment

Alexandre Bevilacqua Leoneti

Doutor em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento (EESC/USP) e professor doutor no Departamento de Administração (FEA-RP/USP) Ribeirão Preto, SP, Brasil
ableoneti@usp.br

Sonia Valle Walter Borges de Oliveira

Doutora em Administração de Empresas (FEA/USP) e professora associada no Departamento de Administração (FEA-RP/USP) Ribeirão Preto, SP, Brasil

Eduardo Cleto Pires

Doutor em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento (EESC/USP) e professor titular no Departamento de Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento (EESC/USP) São Carlos, SP, Brasil

INTRODUÇÃO

Desde a publicação do Relatório Brundtland “Nosso Futuro Comum”, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1987, e da realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), em 1992, o conceito de sustentabilidade entrou na pauta das decisões da maioria das organizações no mundo inteiro (RAMETSTEINER *et al.*, 2011). No entanto, quantificar os critérios relativos à sustentabilidade é, na maioria das vezes, um processo discutível e possivelmente conflitante, devido à necessidade de atender às diversas características do problema. Segundo RAMETSTEINER *et al.* (2011), muitas ferramentas têm sido desenvolvidas para esta tarefa, mas estas diferem nos processos de sua construção: o processo político-administrativo ou o cientificamente orientado. Neste último, há uma tendência para ignorar ou subestimar o processo de negociação, colocando ênfase na concepção técnica e separando a ciência da política – aqui considerada como a habilidade no trato das relações humanas – com vista à obtenção dos resultados desejados. Todavia, a busca pela sustentabilidade deve estar baseada na tomada de decisão participativa, democrática, integrada e abrangente (STARKL; BRUNNER, 2004).

No âmbito da gestão das águas, as soluções para novos empreendimentos deveriam estar baseadas na avaliação técnica e na

posterior avaliação da sua sustentabilidade, devido principalmente às profundas implicações sociais, econômicas e ambientais das estações de tratamento (MAKROPOULOS *et al.*, 2008). A necessidade desta avaliação tem estimulado o desenvolvimento de novas ferramentas, que se baseiam em diversos tipos de indicadores para representar os diferentes aspectos da sustentabilidade (MEADOWS, 1998). Por meio destas ferramentas, cientistas, políticos, cidadãos e tomadores de decisão em geral podem monitorar as alterações nas dimensões-chave da sustentabilidade, possibilitando identificar tendências para cenários futuros (RAMETSTEINER *et al.*, 2011). A partir disto, as diferentes alternativas podem ser discutidas entre os diferentes agentes envolvidos na tomada de decisão, com a finalidade de se identificar qual delas atende todos os critérios exigidos, sem, no entanto, gerar impactos negativos nas regiões onde serão implantadas.

Desta forma, MAKROPOULOS *et al.* (2008) afirmam que a incorporação da avaliação de sustentabilidade nos processos decisórios se tornou uma tarefa fundamental para o serviço de água e seus prestadores. Todavia, também concordam que o desafio fundamental da incorporação desta avaliação da sustentabilidade não é essencialmente o técnico, mas sim o político, pois o conceito de sustentabilidade é normativo e a decisão sobre quem participará e quem decidirá no processo de desenvolvimento do indicador é crucial (RAMETSTEINER *et al.*, 2011).

Assim, segundo os autores, a adoção deste novo conceito trará sempre a necessidade de dar suporte aos envolvidos para realizarem uma avaliação mais objetiva de diferentes alternativas, tendo como foco a sustentabilidade.

Como uma contribuição para realizar esta avaliação de alternativas MAKROPOULOS *et al.* (2008) desenvolveram um software baseado em uma biblioteca denominada “Biblioteca de Tecnologia”. Esta biblioteca é a compilação de funções, na forma de blocos individuais, para estimar o desempenho de diferentes tecnologias de sistemas de tratamento de água ou esgoto, abrangendo os aspectos ambientais, econômicos e sociais da sustentabilidade. De forma específica, cada uma destas unidades – chamadas de “bloco” (figura 1) – representa uma tecnologia de tratamento e contém diversas funções, do tipo caixa preta, que são utilizadas para estimar o desempenho das tecnologias nos diversos aspectos considerados em sua avaliação. De forma mais ampla, estes blocos são agrupados de acordo com as afinidades tecnológicas para formar blocos compostos, que são chamados de sistemas. Estes blocos compostos representam diferentes tipos de sistemas, os quais podem ser avaliados com base em seus desempenhos nos múltiplos critérios considerados.

Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver em planilha eletrônica um método baseado em indicadores para a avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de



Figura 1 – Configuração dos blocos - Fonte: Makropoulos *et al.* (2008, p. 1454).

esgoto, utilizando o conceito de biblioteca de tecnologia proposto por MAKROPOULOS *et al.* (2008). Foram coletadas e são apresentadas funções para estimar os critérios econômicos, sociais e ambientais de diferentes tipos de tecnologias e processos para o tratamento de esgoto. Estas funções foram agrupadas com o objetivo de verificar a possibilidade da implementação desta biblioteca e, assim, permitir uma discussão mais objetiva sobre os conceitos de sustentabilidade na fase de projeto e tomada de decisão. O método proposto demonstrou ser facilmente aplicável o que lhe confere um potencial para ser utilizado nas avaliações de sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto.

METODOLOGIA

O presente estudo é uma pesquisa aplicada, com a criação e utilização de uma biblioteca de tecnologias para avaliar a sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto. A pesquisa foi desenvolvida com o auxílio do *software* Excel®, onde foram definidas funções para estimar os diferentes aspectos da sustentabilidade de tecnologias e processos de tratamento de esgoto.

Estas funções foram agrupadas em blocos individuais, como proposto por MAKROPOULOS *et al.* (2008), considerando parâmetros econômicos, ambientais e sociais.

A escolha dos sistemas para compor esta biblioteca de tecnologia foi realizada a partir dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), de onde foram selecionados os tipos de sistemas de tratamento mais utilizados no Brasil. A tabela 1 mostra estes tipos de sistemas de tratamento nos municípios brasileiros.

Dentre os doze principais sistemas de tratamentos empregados nos municípios brasileiros, nove foram incorporados ao modelo, não tendo sido incorporados à biblioteca os sistemas de Fossa Séptica, por se tratar de um sistema descentralizado, ou seja, que não permitiria a sua interação com outros sistemas individuais da biblioteca, bem como Valo de Oxidação e Lagoa Mista, devido à pequena representatividade na amostra destes dois últimos sistemas. Embora possuindo também uma baixa representatividade, o sistema *Wetland* foi incorporado, pois representa um tipo de pós-

tratamento que pode ser adicionado ao final dos tratamentos convencionais para aumentar o desempenho do sistema como um todo. Ainda, devido a uma diferença entre dois sistemas encontrados na literatura (VON SPERLING, 2006), também foi inserida uma variação do sistema de Filtro Biológico e outra do sistema de Lodos Ativados. Por fim, foi adicionado um sistema de tratamento preliminar, o que completou os doze sistemas considerados nesta pesquisa: (i) Preliminar; (ii) Filtro biológico (baixa carga); (iii) Filtro biológico (alta carga); (iv) Lodo ativado (convencional); (v) Lodo ativado (aeração prolongada); (vi) Reator anaeróbio (UASB); (vii) Lagoa anaeróbia; (viii) Lagoa aerada (facultativa); (ix) Lagoa aerada (aeróbia); (x) Lagoa facultativa; (xi) Lagoa de maturação; e (xii) *Wetland*.

Os critérios considerados para cada sistema foram selecionados a partir da identificação de indicadores recorrentes entre os sistemas de indicadores de sustentabilidade para estações de tratamento de esgoto propostos por ALEGRE *et al.* (2007), MUGA e MIHELICIC (2008), VIDAL *et al.* (2002), KELLNER, CALIJURI e PIRES (2009) e MAKROPOULOS *et al.* (2008). Para isto, foi selecionado um

Tabela 1 – Principais tipos de sistemas de tratamento nos municípios brasileiros

Sistema	Quantidade
Lagoa facultativa	672
Reator anaeróbio	565
Lagoa anaeróbia	431
Filtro biológico	317
Lagoa de maturação	238
Lodo ativado	188
Lagoa aeróbia	131
Fossa séptica	109
Lagoa aerada	93
Lagoa mista	65
Valo de oxidação	27
Wetland	20
Outros	129

Fonte: adaptado de IBGE (2008)

Tabela 2 – Critérios escolhidos para compor o indicador de sustentabilidade

Muga and Mihelcic (2008)	Alegre et al. (2007)	Vidal et al. (2002)	Makropoulos et al. (2008)	Kellner et al. (2009)	Critérios escolhidos
Critérios econômicos					
Custo de implantação	Custo de implantação	Investimento	Custo de implantação	Custo total	Custo de implantação
Operação e manutenção	Operação e manutenção	Operação e manutenção	Custos operacionais	-	Custo de operação e manutenção
Custo para o usuário	-	-	Capacidade de pagamento	Tarifa med. praticada	Custo para o usuário
Critérios ambientais					
Uso de energia	Consumo de energia	Consumo de energia	Uso de energia	-	Consumo de energia
DBO	DBO	DBO	Desempenho	DBO	Remoção DBO
N	Nitrogênio total	-	-	N	Remoção N
P	Fósforo total	-	-	P	Remoção P
-	Produção de lodo	Geração de lodo	-	-	Produção de lodo
Critérios sociais					
Nível de odor	Odor	Odor	-	-	Nível de odor
Espaço livre disponível	-	-	Uso do espaço	-	Espaço necessário
Pessoal necessário	Empregados por população	-	-	-	Funcionários requeridos

indicador de sustentabilidade que serviu como base de comparação entre os sistemas de indicadores, tendo sido escolhidos os propostos por MUGA e MIHELICIC (2008) devido à sua estrutura, dividida entre critérios sociais, ambientais e econômicos, e seu número adequado e balanceado de variáveis entre as dimensões de sustentabilidade. A tabela 2 apresenta os critérios escolhidos como indicadores, baseados no indicador de sustentabilidade proposto por MUGA e MIHELICIC (2008).

Finalmente, os valores para os critérios selecionados foram coletados na literatura a partir de, basicamente, duas maneiras: (i) por meio de funções ou modelos determinísticos; ou (ii) por meio de funções ou modelos heurísticos, através de funções de

transformação empíricas. Em ambas as formas, dado, por exemplo, a quantidade de uma determinada variável de entrada (afluente), a função ou modelo estima o seu valor após o tratamento (efluente), conforme a figura 1 anteriormente apresentada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os critérios escolhidos para compor a biblioteca de tecnologia utilizada nesta pesquisa, os indicadores “custo de implantação”, “custo de operação e manutenção” e “custo para o usuário” foram selecionados para representar a dimensão econômica das estações de tratamento de esgoto. O indicador “Custo de implantação” representa o custo em reais estimado para instalar cada sistema individualmente em um

município baseado no número de habitantes. De forma semelhante, o indicador “Custo de operação e manutenção” estima o custo anual em reais para a operação e manutenção de cada sistema individual, também em função do número de habitantes. Finalmente, o indicador “Custo para o usuário” estima, em reais, qual o valor médio da tarifa ou taxa que o município cobra por cada sistema individual ao ano.

Em sua maior parte, os indicadores econômicos foram encontrados na literatura na forma de funções determinísticas, embora para estimar o indicador “Custo para o usuário” tenha sido necessário utilizar dados consolidados do relatório Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2009 do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2009), fazendo-

Tabela 3 – Funções para os critérios econômicos

Sistema	Função original	Função adaptada	Fonte
Custo de implantação			
Preliminar	30-50 R\$/hab	50 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	120-150 R\$/hab	168 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	120-150 R\$/hab	168 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	100-160 R\$/hab	162 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	90-120 R\$/hab	131 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	30-50 R\$/hab	50 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	30-75 R\$/hab	45 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	50-90 R\$/hab	87 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	65-100 R\$/hab	103 R\$/hab *	Jordão; Pessôa, 2009, p 852
Lagoa facultativa	30-75 R\$/hab	65 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	20-25 R\$/hab	28 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	50-80 R\$/hab	81 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Custo de operação e manutenção			
Preliminar	1,5-2,5 R\$/hab	2,5 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	10-15 R\$/hab	15,6 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	10-15 R\$/hab	15,6 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	10-20 R\$/hab	18,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	10-20 R\$/hab	18,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	2,5-3,5 R\$/hab	3,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	2-4 R\$/hab	3,5 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	5-9 R\$/hab	8,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	5-9 R\$/hab	8,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa facultativa	2-4 R\$/hab	3,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	0,5-1 R\$/hab	0,9 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	2,5-4 R\$/hab	4,1 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Custo para o usuário			
Preliminar	2,43 US\$/hab	7,0 R\$/hab	LEONETI (2009)
Filtro biológico (baixa carga)	63 casos; R ² =0,45	17,94 R\$/hab	SINIS (2009)
Filtro biológico (alta carga)	63 casos; R ² =0,45	17,94 R\$/hab	SINIS (2009)
Lodo ativado (convencional)	45 casos; R ² =0,96	54,72 R\$/hab	SINIS (2009)
Lodo ativado (aeração prolong.)	45 casos; R ² =0,96	54,72 R\$/hab	SINIS (2009)
Reator anaeróbio (UASB)	179 casos; R ² =0,63	24,92 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa anaeróbia	18 casos; R ² =0,86	10,87 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa aerada (facultativa)	10 casos; R ² =0,94	21,38 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa aerada (aeróbia)	10 casos; R ² =0,93	27,32 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa facultativa	117 casos; R ² =0,59	22,67 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa de maturação	7 casos; R ² =0,75	8,64 R\$/hab	SINIS (2009)
<i>Wetland</i>	Média dos 3 casos	20,41 R\$/hab	SINIS (2009)

Notas: (*) os valores médios foram atualizados de janeiro/2006 para janeiro/2009 pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), que apresentou variação de 24,73% no período

se uma regressão entre a variável independente “População total do município” e a variável dependente “Receita operacional direta de esgoto” deste relatório. As funções das variáveis “Custo de implantação” e “Custo de operação e manutenção” foram facilmente encontradas e receberam, em sua maior parte, valores médios entre os mínimos e máximos sugeridos na

literatura. Todavia, os valores referentes às lagoas anaeróbias, devido à amplitude de sua variação entre o custo mínimo e máximo, foram definidos utilizando-se 120% do valor mínimo para sua composição. Finalmente, estes valores foram corrigidos pelo Índice Nacional de Custo da Construção de Janeiro/2006 para Janeiro/2009, o qual variou 24,73% no período. A

tabela 3 apresenta as funções definidas para os critérios econômicos e suas versões originais, além da quantidade de casos analisados e o índice R² (coeficiente de determinação na amostra) alcançado pela regressão para o caso específico da variável “Custo para o usuário”.

Para representar a dimensão ambiental das estações de

Tabela 4 – Funções para os critérios ambientais

Sistema	Função original	Função adaptada	Fonte
Consumo de energia			
Preliminar	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	18-26 kWh/hab	22 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	20-35 kWh/hab	27,5 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	11-18 kWh/hab	14,5 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	20-24 kWh/hab	21 kWh/hab	Jordão; Pessôa, 2009, p 852
Lagoa facultativa	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Eficiência de remoção de DBO			
Preliminar	30-35% DBO	32,5% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Filtro biológico (baixa carga)	85-93% DBO	89% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Filtro biológico (alta carga)	80-90% DBO	85% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lodo ativado (convencional)	85-93% DBO	89% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lodo ativado (aeração prolong.)	90-97% DBO	93,5% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Reator anaeróbio (UASB)	60-75% DBO	67% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa anaeróbia	50-85% DBO	65% DBO	Metcalf; Eddy, 1991, p 645
Lagoa aerada (facultativa)	75-85% DBO	80% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (aeróbia)	50-60% DBO	55% DBO	Jordão; Pessôa, 2009, p 797
Lagoa facultativa	75-85% DBO	80% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa de maturação	60-80% DBO	70% DBO	Metcalf; Eddy, 1991, p 645
<i>Wetland</i>	80-90% DBO	85% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Eficiência de remoção de N			
Preliminar	5-10% N	7,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 692
Filtro biológico (baixa carga)	15-50% N	32,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 170
Filtro biológico (alta carga)	15-50% N	32,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 170
Lodo ativado (convencional)	15-50% N	32,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 170
Lodo ativado (aeração prolong.)	15-50% N	32,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 170
Reator anaeróbio (UASB)	60% N	60% N	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa anaeróbia	60% N	60% N	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (facultativa)	30% N	30% N	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (aeróbia)	30% N	30% N	Jordão; Pessôa, 2009, p 797
Lagoa facultativa	60% N	60% N	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa de maturação	50-65% N	57,5% N	Von Sperling, 2006, p 339
<i>Wetland</i>	60% N	60% N	Von Sperling, 2006, p 339
Eficiência de remoção de P			
Preliminar	10-20% P	15% P	Metcalf; Eddy, 1991, p 695
Filtro biológico (baixa carga)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Filtro biológico (alta carga)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lodo ativado (convencional)	10-25% P	17,5% P	Metcalf; Eddy, 1991, p 695
Lodo ativado (aeração prolong.)	10-25% P	17,5% P	Metcalf; Eddy, 1991, p 695
Reator anaeróbio (UASB)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa anaeróbia	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (facultativa)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (aeróbia)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa facultativa	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa de maturação	50% P	50% P	Von Sperling, 2006, p 339
<i>Wetland</i>	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339

Tabela 4 – Funções para os critérios ambientais (cont.)

Produção de lodo			
Preliminar	110-360 L/hab	235 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	360-1100 L/hab	730 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	500-1900 L/hab	1200 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	1100-3000 L/hab	2050 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	1200-2000 L/hab	1600 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	70-220 L/hab	145 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	55-160 L/hab	107,5 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	30-220 L/hab	125 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	55-360 L/hab	207,5 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa facultativa	55-160 L/hab	107,5 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	55-160 L/hab	107,5 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	0 L/hab	0 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340

foram escolhidos os indicadores consumo de energia, eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), eficiência de remoção de Nitrogênio (N), eficiência de remoção de Fósforo (P) e produção de lodo. O indicador “Consumo de energia” representa uma estimativa do consumo de energia anual, em kWh, para o tratamento do esgoto de cada município, ou seja, como todos os indicadores econômicos apresentados, este indicador varia também em função da população. O mesmo ocorre com o indicador “Produção de lodo”, que fornece uma estimativa de produção em litros de lodo por ano para cada sistema individual, com base na quantidade de habitantes do município. Por sua vez, os indicadores “Eficiência de remoção de DBO”, “Eficiência de remoção de N” e “Eficiência de remoção de P”, representam uma estimativa de remoção, em porcentagem, da DBO, do Nitrogênio e do Fósforo, que são encontrados no afluente de cada sistema individual, respectivamente. Desta forma, as variáveis de entrada passaram a ser, até aqui: (i) população; (ii) DBO afluente; (iii) N afluente; e (iv) P afluente.

Os valores para os critérios ambientais foram mais facilmente encontrados na literatura, possuindo apenas algumas variações entre os diferentes autores e também receberam valores médios entre os mínimos e máximos sugeridos. A

tabela 4 apresenta as funções definidas para os parâmetros ambientais e suas versões originais.

Finalmente, os indicadores “nível de odor”, “espaço necessário” e “funcionários requeridos” foram escolhidos para representar a dimensão social das estações de tratamento de esgoto. O indicador “Nível de odor” não possui uma escala quantitativa como os outros critérios vistos até aqui e por isto foi estabelecido a partir da opinião coletada por meio de entrevista com um especialista da área de projetos utilizando-se de uma escala entre 1 e 4 pontos, sendo um a melhor pontuação e quatro a pior pontuação possível. Quando considerados dois ou mais sistemas, a média entre as notas de cada sistema é utilizada como padrão. Também neste caso, quanto menor a pontuação alcançada, melhor será o sistema. O indicador “Espaço necessário” representa a área necessária em metros quadrados estimada para a instalação de cada sistema individual, com base no número de habitantes. Por fim, o indicador “Funcionários requeridos” representa o total de funcionários necessários para operar a estação de tratamento de esgoto com base na vazão afluente, em metros cúbicos, e esta passou a ser a quinta variável de entrada do sistema: (i) população; (ii) DBO afluente; (iii) N afluente; e (iv) P afluente; (v) vazão média afluente.

Os valores para os indicadores sociais foram os de maior dificuldade de obtenção por falta na literatura de trabalhos especializados. Com exceção do indicador “Espaço necessário”, que foi facilmente encontrado na literatura, os indicadores “Nível de odor” e “Funcionários requeridos” exigiram uma busca maior, tendo sido o último de maior complexidade. Assim, o indicador que estima o nível de odor foi definido com base na opinião de um especialista. Todavia, o mesmo não pode ser replicado para estimar a quantidade de trabalhadores. Desta forma, a quantidade de trabalhadores foi determinada empiricamente, utilizando-se do *software* em planilha eletrônica *WWTPStaffing* (GESELBRACHT, 2006), que permite o cálculo de operários em uma estação de tratamento de esgoto baseado na publicação “*Estimating Staffing for Municipal Wastewater Treatment Facilities*”, de março de 1973, da *Environmental Protection Agency* (EPA). A tabela 5 apresenta as funções definidas para os critérios sociais e suas versões originais.

Os valores coletados e apresentados nas tabelas anteriores foram suficientes para proporcionar uma medida razoável de estimação dos diversos critérios considerados na composição do indicador de sustentabilidade. Desta forma, vale ressaltar que devido à complexidade de estimação destes critérios,

Tabela 5 – Funções para os critérios sociais

Sistema	Função original	Função adaptada	Fonte
Nível de odor			
Preliminar	-	2 pt *	Opinião de especialista
Filtro biológico (baixa carga)	+ -	2 pt	Opinião de especialista
Filtro biológico (alta carga)	+ -	2 pt	Opinião de especialista
Lodo ativado (convencional)	-	1 pt	Opinião de especialista
Lodo ativado (aeração prolong.)	-	1 pt	Opinião de especialista
Reator anaeróbio (UASB)	++	4 pt	Opinião de especialista
Lagoa anaeróbia	++	4 pt	Opinião de especialista
Lagoa aerada (facultativa)	+	3 pt	Opinião de especialista
Lagoa aerada (aeróbia)	+	3 pt	Opinião de especialista
Lagoa facultativa	+	3 pt	Opinião de especialista
Lagoa de maturação	+ -	2 pt	Opinião de especialista
<i>Wetland</i>	-	1 pt	Opinião de especialista
Espaço necessário			
Preliminar	0,03-0,05 m ² /hab	0,04 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	0,15-0,3 m ² /hab	0,22 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	0,12-0,25 m ² /hab	0,18 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	0,12-0,25 m ² /hab	0,18 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	0,12-0,25 m ² /hab	0,18 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	0,03-0,1 m ² /hab	0,07 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	1,5-3 m ² /hab	2,25 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	0,25-0,5 m ² /hab	0,37 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	0,2-0,4 m ² /hab	0,3 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa facultativa	2-4 m ² /hab	3 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	1,5-2 m ² /hab	1,75 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	3-5 m ² /hab	4 m ² /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Funcionários requeridos			
Preliminar	0,00001 m ³ /d	0,00001 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Filtro biológico (baixa carga)	0,00005 m ³ /d	0,00005 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Filtro biológico (alta carga)	0,00005 m ³ /d	0,00005 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Lodo ativado (convencional)	0,00009 m ³ /d	0,00009 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Lodo ativado (aeração prolong.)	0,00009 m ³ /d	0,00009 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Reator anaeróbio (UASB)	0,00003 m ³ /d	0,00003 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Lagoa anaeróbia	0,00001 m ³ /d	0,00001 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Lagoa aerada (facultativa)	0,00002 m ³ /d	0,00002 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Lagoa aerada (aeróbia)	0,00002 m ³ /d	0,00002 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Lagoa facultativa	0,00001 m ³ /d	0,00001 m ³ /d	Geselbracht, 2006
Lagoa de maturação	0,00001 m ³ /d	0,00001 m ³ /d	Geselbracht, 2006
<i>Wetland</i>	0,00001 m ³ /d	0,00001 m ³ /d	Geselbracht, 2006

Notas: (*) parâmetro ajustado de 1 para 2 devido a presença de odores, particularmente grades e caixas de areia

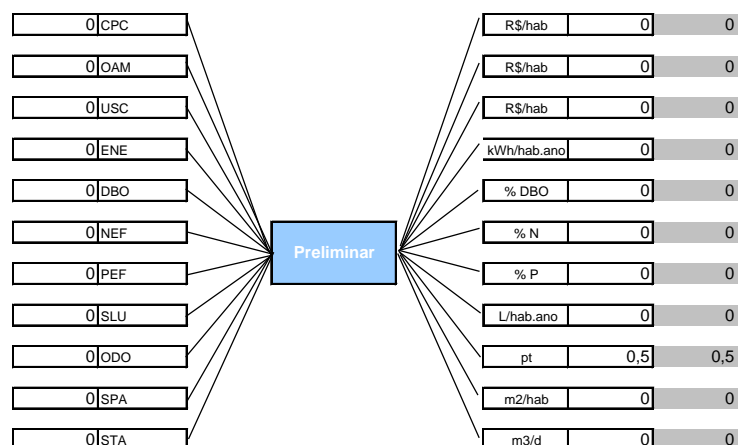
somada à proposta de agregação dos sistemas individuais, ou seja, a estimação dos sistemas utilizando os dados de saída do sistema imediatamente anterior, faz com que sua utilização sirva para exemplificar a teoria proposta nesta pesquisa.

Desta forma, a partir da coleta dos valores para a composição das funções para todos os indicadores selecionados, um

exemplo foi desenvolvido considerando um município fictício com aproximadamente 40 mil habitantes e com a necessidade de implantar uma estação de tratamento de esgoto. A biblioteca de tecnologias foi criada com as funções encontradas para os sistemas preliminares, primários, secundários e terciários (polimento). A figura 2 apresenta a estrutura geral de cada uma destas funções.

Os blocos criados foram: (i) Preliminar; (ii) Filtro biológico (baixa carga); (iii) Filtro biológico (alta carga); (iv) Lodo ativado (convencional); (v) Lodo ativado (aeração prolongada); (vi) Reator anaeróbio (UASB); (vii) Lagoa anaeróbia; (viii) Lagoa aerada (facultativa); (ix) Lagoa aerada (aeróbia); (x) Lagoa facultativa; (xi) Lagoa de maturação; e (xii) *Wetland*. Finalmente, os arranjos desses

Figura 2 – Estrutura geral das funções (exemplo do sistema preliminar)



Notas: CPC = Custo de implantação (R\$); OAM = Custo de operação e manutenção (R\$); USC = Custo para o usuário (R\$); ENE= Consumo de energia (kWh); DBO = Eficiência remoção DBO (mg/L); NEF = Eficiência remoção Nitrogênio (mg/L); PEF = Eficiência remoção Fósforo (mg/L); SLU = Produção de lodo (L); ODO = Nível de odor (pts); SPA = Espaço necessário (m²); STA = Mão-de-obra requerida

Tabela 6 – Sistemas criados a partir dos blocos individuais da biblioteca de tecnologias

Nome do sistema	Pré-tratamento	1º Processo	2º Processo	Polimento
Sistema A	Preliminar	UASB	Lodo ativado (convencional)	
Sistema B	Preliminar	UASB	Lagoa facultativa	
Sistema C	Preliminar	UASB	Filtro biológico (alta carga)	
Sistema D	Preliminar	UASB	Lagoa aerada (aeróbia)	
Sistema E	Preliminar	UASB	Lagoa aerada (facultativa)	
Sistema F	Preliminar	Lagoa anaeróbia	Lagoa facultativa	
Sistema G	Preliminar	Lagoa anaeróbia	Lagoa aerada (aeróbia)	
Sistema H	Preliminar	Lagoa anaeróbia	Lagoa aerada (facultativa)	
Sistema I	Preliminar	UASB	Lodo ativado (aeração prolongada)	
Sistema J	Preliminar	UASB	Filtro biológico (baixa carga)	
Sistema K	Preliminar	UASB	Lagoa facultativa	Lagoa de maturação
Sistema L	Preliminar	Lagoa anaeróbia	Lagoa facultativa	Lagoa de maturação
Sistema M	Preliminar	UASB	Lodo ativado (convencional)	Wetland
Sistema N	Preliminar	UASB	Lodo ativado (aeração prolongada)	Wetland

blocos tiveram como base os sistemas considerados no modelo ETEX (OLIVEIRA, 2004; LEONETI, 2009) e a inclusão de sete novos (do “I” ao “N”), os quais foram utilizados para criar o arranjo de 14 sistemas, que podem ser visualizados na tabela 6.

Finalmente, com base nos dados de entrada aproximados para um município deste porte, a saber: população de 40 mil habitantes; concentração de DBO afluente de 350 mg/L; concentração de Nitrogênio afluente de 100 mg/L; concentração de Fósforo afluente de

50 mg/L; e vazão afluente de 14 mil m³/d, os 14 sistemas apresentaram os desempenhos que podem ser visualizados na tabela 7.

A partir dos desempenhos calculados pelas funções da biblioteca de tecnologias, a avaliação das alternativas mais sustentáveis pode ser realizada. Por exemplo, para o município em avaliação, a alternativa mais viável do ponto de vista do operador ou prestador de serviços de saneamento seria o “Sistema F”, que necessita apenas de aproximadamente R\$ 6,4 milhões

para sua implantação e R\$ 388 mil anuais para sua operação e manutenção, sendo estes os menores custos entre todos os sistemas. Por outro lado, este sistema não é o mais barato para o usuário final, sendo o “Sistema H” o mais viável para municípios com população de baixa renda *per capita*. Este tipo de discussão pode ser expandido quando considerados os critérios ambientais. Por exemplo, o “Sistema B”, que possui o segundo menor custo de implantação, operação e manutenção dentre os sistemas, perde no desempenho

ambiental quando comparado com os sistemas “M” ou “N”, que possuem a melhor eficiência na remoção de DBO. Enquanto o efluente do “Sistema B” tem uma concentração de DBO em torno de 15 mg/L, os sistemas “M” e “N” têm uma concentração por volta de 1,29 e 0,76 mg/L de DBO, respectivamente¹.

Este tipo de avaliação pode ser ampliado para todos os sistemas. De acordo com a tabela 8, que apresenta a classificação crescente dos sistemas em cada critério, nenhum dos sistemas alcançou uma posição ótima para todos os requisitos. Este, aliás, é o grande

desafio da incorporação da avaliação da sustentabilidade no processo de tomada de decisão de sistemas de tratamento de esgoto. Enquanto um determinado sistema pode atender de maneira adequada um dos critérios da sustentabilidade, por exemplo, o econômico (como o “Sistema F”), ele pode não atender de forma satisfatória os outros critérios da sustentabilidade (ambiental e social) de forma satisfatória. Além disso, se for considerada uma medida como a média aritmética para identificar qual seria o melhor sistema em todos os critérios de forma global, pode-se criar uma situação como a

entre os sistemas em prol da tomada de decisão. Esta dificuldade de se estabelecer cientificamente qual seria o melhor sistema a ser adotado, traz em pauta a necessidade da incorporação do processo de negociação como etapa complementar do processo de tomada de decisão.

Soma-se ainda a problemática, o fato de que cada agente pode ter opiniões distintas e, conseqüentemente, prioridades diferentes de atendimento aos critérios. Por exemplo, para o critério “STA = Mão de obra requerida” um agente poderia determinar como maior impacto

Tabela 7 – Desempenho dos sistemas

	Critérios econômicos				Critérios ambientais				Critérios sociais		
	CPC (mil)	OAM (mil)	USC (mil)	ENE (mil)	DBO	NEF	PEF	SLU (mil)	ODO	SPA (mil)	STA
Sistema A	10.480	996	3.465	880	38,50	67,50	41,25	97,20	0,50	11,60	1,82
Sistema B	6.600	396	2.183	-	15,59	14,80	17,96	19,50	2,75	124,40	0,70
Sistema C	10.720	872	1.994	-	11,69	24,98	17,96	63,20	2,25	11,60	1,26
Sistema D	8.120	596	2.369	840	35,08	25,90	17,96	23,50	2,75	16,40	0,84
Sistema E	7.480	596	2.132	580	15,59	25,90	17,96	20,20	2,75	19,20	0,84
Sistema F	6.400	388	1.621	-	16,54	14,80	17,96	18,00	2,75	211,60	0,42
Sistema G	7.920	588	1.807	840	37,21	25,90	17,96	22,00	2,75	103,60	0,56
Sistema H	7.280	588	1.570	580	16,54	25,90	17,96	18,70	2,75	106,40	0,56
Sistema I	9.240	996	3.465	1.100	5,07	24,98	22,79	79,20	1,75	11,60	1,82
Sistema J	10.720	872	1.994	-	8,58	24,98	17,96	44,40	2,25	13,20	1,26
Sistema K	7.720	432	2.529	-	4,68	6,29	8,98	23,80	2,38	194,40	0,84
Sistema L	7.520	424	1.967	-	4,96	6,29	8,98	22,30	2,38	281,60	0,56
Sistema M	13.720	1.160	4.282	880	1,29	9,99	14,81	97,20	1,38	171,60	1,96
Sistema N	12.480	1.160	4.282	1.100	0,76	9,99	14,81	79,20	1,38	171,60	1,96

Notas: CPC = Custo de implantação (R\$); OAM = Custo de operação e manutenção (R\$); USC = Custo para o usuário (R\$); ENE= Consumo de energia (kWh); DBO = Eficiência remoção DBO (mg/L); NEF = Eficiência remoção Nitrogênio (mg/L); PEF = Eficiência remoção Fósforo (mg/L); SLU = Produção de lodo (L); ODO = Nível de odor (pts); SPA = Espaço necessário (m2); STA = Mão de obra requerida.

¹ Ressalta-se que estas estimativas estão sendo apresentadas não como uma representação inequívoca da realidade, mas apenas como uma base da discussão do exemplo proposto

apresentada na referida tabela, onde grande parte dos sistemas alcançaria uma classificação intermediária (entre 5 e 8), impossibilitando uma discriminação

social um maior número de empregados, pois veria esta questão como custos maiores. Por outro lado, um segundo agente poderia enxergar o mesmo critério de forma

Tabela 8 – Desempenho dos sistemas (ordem crescente)

	Critérios econômicos			Critérios ambientais				Critérios sociais				
	CPC	OAM	USC	ENE			SLU	SPA				
	(mil)	(mil)	(mil)	(mil)	DBO	NEF	PEF	(mil)	ODO	(mil)	STA	Média
Sistema A	10	11	11	5	14	14	14	13	<u>1*</u>	<u>1*</u>	11	10
Sistema B	2	2	8	-	8	5	5	3	9	9	5	6
Sistema C	11	9	5	-	7	7	5	10	5	<u>1*</u>	9	7
Sistema D	8	7	9	3	12	10	5	7	9	5	6	7
Sistema E	4	7	7	<u>1*</u>	8	10	5	4	9	6	6	6
Sistema F	<u>1*</u>	<u>1*</u>	2	-	10	5	5	1	9	13	<u>1*</u>	5
Sistema G	7	5	3	3	13	10	5	5	9	7	2	6
Sistema H	3	5	<u>1*</u>	<u>1*</u>	10	10	5	2	9	8	2	5
Sistema I	9	11	11	7	5	7	13	11	4	<u>1*</u>	11	8
Sistema J	11	9	5	-	6	7	5	9	5	4	9	7
Sistema K	6	4	10	-	3	<u>1*</u>	<u>1*</u>	8	7	12	6	6
Sistema L	5	3	4	-	4	<u>1*</u>	<u>1*</u>	6	7	14	2	5
Sistema M	14	13	13	5	2	3	3	13	2	10	13	8
Sistema N	13	13	13	7	<u>1*</u>	3	3	11	2	10	13	8

Notas: CPC = Custo de implantação (R\$); OAM = Custo de operação e manutenção (R\$); USC = Custo para o usuário (R\$); ENE= Consumo de energia (kWh); DBO = Eficiência remoção DBO (mg/L); NEF = Eficiência remoção Nitrogênio (mg/L); PEF = Eficiência remoção Fósforo (mg/L); SLU = Produção de lodo (L); ODO = Nível de odor (pts); SPA = Espaço necessário (m2); STA = Mão de obra requerida.

positiva, ou seja, levaria em conta os benefícios de se empregar um maior número de funcionários. Esta controvérsia pode se replicar em outros tipos de critérios, por exemplo, “SPA = Espaço necessário”. Assim, de acordo com MEADOWS (1998), o tipo de ferramenta apresentado nesta pesquisa pode enriquecer o processo de tomada de decisão, pois torna possível a incorporação da negociação no processo da escolha de sistemas de tratamento de esgoto. Além disto, esta ferramenta permite uma discussão mais objetiva dos conceitos de sustentabilidade, o que poderia ajudar a diminuir a resistência dos envolvidos na escolha dos sistemas de tratamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um método baseado em indicadores para a avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto, utilizando o conceito de biblioteca de tecnologia.

A utilização de bibliotecas de tecnologia demonstrou ter potencial para a avaliação da sustentabilidade das estações de tratamento de esgoto, pois permite considerar diferentes critérios, por exemplo, os econômicos com os ambientais e/ou sociais, e evidencia as principais vantagens e desvantagens das diversas alternativas consideradas no processo de tomada de decisão. Esta constatação ganha evidência quando considerados dois sistemas diferentes, sendo um mais bem avaliado no aspecto econômico e outro mais bem avaliado no aspecto ambiental, o que torna necessário a negociação entre os agentes envolvidos na escolha, a qual poderia ser orientada, por exemplo, por meio da Teoria dos Jogos. Um maior detalhamento deste outro tipo de abordagem já está sendo preparado pelos presentes autores na forma de um artigo científico.

Com relação aos critérios que foram coletados na literatura para a avaliação da sustentabilidade,

as funções para os indicadores sociais são as de maior dificuldade de obtenção, sendo as funções das variáveis econômicas obtidas com dificuldade intermediária e as funções das variáveis ambientais mais facilmente obtidas, possuindo algumas variações entre diferentes autores na literatura. Para a aplicação e teste do método, as tecnologias de tratamento mais comumente adotadas no Brasil foram encontradas na tabela da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico e foram incorporados à biblioteca de tecnologias na forma de blocos individuais.

O método aqui proposto, com seus blocos de sistemas e funções para a avaliação dos critérios da sustentabilidade, demonstrou potencial para ser utilizado nas avaliações de sustentabilidade ou como ponto de partida para outros trabalhos semelhantes nesta área de conhecimento ou outras afins. Outra característica identificada é que o método torna possível uma

discussão mais objetiva sobre os conceitos de sustentabilidade. Todavia, ressalta-se que as funções apresentadas neste trabalho serviram principalmente como base para a aplicação do método proposto em um caso hipotético. Sendo assim, sugere-se que em estudos futuros estas funções sejam aprimoradas.

Um problema de origem conceitual com relação aos resultados, é que a eficiência total foi considerada resultante da associação de processos de tratamento e das respectivas eficiências adotadas para cada um deles. Entretanto, após um processo, dever ser considerado que o efluente pode apresentar substâncias mais recalcitrantes à biodegradação o que tornaria a eficiência menor no processo subsequente. Esta é uma das limitações do trabalho, que não impediu a aplicação e teste do método, mas que torna necessária sua redefinição para estudos que necessitem de maior detalhamento e precisão.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela bolsa de doutorado concedida a Alexandre Bevilacqua Leoneti ao CNPq pela bolsa PQ1 concedida a Eduardo Cleto Pires.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA JR., E.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R.. Performance Indicators for Water Supply Services: Manual of Best Practice. 2 ed. Londres: IWA Publishing, 2007

GESELBRACHT, J. WWTPStaffing. Water Works Engineers, Version 1.01 (16/8/2006). Disponível em: <http://www.wwengineers.com>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa

Nacional de Saneamento Básico, 2008. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp>>. Acesso em: 30 out. 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009

KELLNER, E.; CALIJURI, M. C.; PIRES, E. C.. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para lagoas de estabilização. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14, 2009, p. 455-464

LEONETI, A. B. Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário. 2009. 154f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

MAKROPOULOS, C.K.; NATSIS, K.; LIU, S.; MITTAS, K.; BUTLER D. Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. Environmental Modelling & Software, v. 23, 2008, p. 1448–1460

MEADOWS, D. Indicators and Information Systems for Sustainable Development. The Sustainability Institute, 1998

METCALF, A.; EDDY, M. S., Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1991

MUGA, H. E.; MIHELICIC, J. R. Sustainability of wastewater treatment technologies. Journal of Environmental Management, v. 88, 2008, p. 437–447

OLIVEIRA, S.V.W.B. Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário. 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Administração)- Faculdade de Economia,

Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

RAMETSTEINER, E.; PÜLZL, H.; ALKAN-OLSSON, J.; FREDERIKSEN, P. Sustainability indicator development—Science or political negotiation? Ecological Indicators, v. 11, 2011, p. 61–70

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO (2009). Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 30 out. 2011.

STARKL, M.; BRUNNER, N. Feasibility versus sustainability in urban water management. Journal of Environmental Management, v.71, 2004, p. 245-260.

VIDAL, N.; BAÑARES-ALCÁNTARA, R.; RODRÍGUEZ-RODA, I.; POCH, M. Design of Wastewater Treatment Plants Using a Conceptual Design Methodology, v 41, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2002, p. 4993-5005

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. v.1, 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

Recebido em: nov/2011
Aprovado em: out/2013