

I-017 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE CONSIDERANDO OS RESÍDUOS GERADOS NO TRATAMENTO

Lyda Patricia Sabogal-Paz⁽¹⁾

Professora Doutora do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - SHS/EESC/USP, São Carlos/SP. Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São-Carlense, 400; CEP: 13566-590. São Carlos /SP. Brasil. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Tel.: (55)(16) 33739548; Fax: (55) (16) 33739550. e-mail: lysaboga@sc.usp.br

RESUMO

A adequada seleção de tecnologias de tratamento de água envolve, entre outros fatores, a avaliação econômica dos projetos. Entretanto, os engenheiros projetistas brasileiros têm dificuldade em encontrar literatura que oriente a avaliação dos gastos envolvidos considerando: construção, operação, manutenção e administração das ETAs em conjunto com os resíduos gerados. Neste contexto, o presente artigo coloca a disposição do público alvo, um modelo conceitual para avaliação dos gastos da tecnologia de filtração direta descendente - FDD, para sistemas com vazões de projeto entre 10 e 40 L/s, envolvendo os resíduos gerados. O modelo é facilmente transformado em *software*, programando as fórmulas matemáticas desenvolvidas, utilizando Excel ou outra base de programação. Destaca-se que as equações apresentadas são válidas, somente, para sistemas que possuam os mesmos critérios de projeto indicados neste trabalho científico. O modelo desenvolvido considera as particularidades (projeto e construção) vigentes no Brasil. Caso o engenheiro projetista pretenda aplicar o modelo em outro país, cuidados devem ser tomados - os resultados devem ser avaliados para constatar sua conveniência no novo contexto.

PALAVRAS-CHAVE: filtração direta descendente - FDD, resíduos de estações de tratamento de água, avaliação econômica de projetos, modelo conceitual de seleção, seleção de tecnologia.

INTRODUÇÃO

Atualmente o engenheiro projetista brasileiro não dispõe de uma ferramenta metodológica (modelo conceitual) que permita avaliar, conjuntamente, os gastos envolvidos na construção, operação, manutenção e administração das estações de tratamento de água – ETAs considerando os resíduos gerados nos sistemas. Neste contexto, o presente artigo coloca à disposição do público alvo um modelo conceitual que permite avaliar, economicamente, ETAs de filtração direta descendente com vazões de projeto entre 10 e 40 L/s, considerando três técnicas de tratamento dos resíduos: i) tanque de clarificação/adensamento e leitos de drenagem; ii) lagoa de lodo; e iii) tanque de regularização de vazão.

METODOLOGIA

As ETAs estudadas, no modelo conceitual desenvolvido, foram do tipo filtração direta descendente em linha (sem floculação), segundo exemplos de ETAs, em escala real, apresentadas na Figura 1.



Figura 1. Exemplos de ETAs de FDD em linha, em escala real, no Estado de São Paulo (Sabogal Paz, 2007; 2010)

As unidades envolvidas na FDD foram: i) mistura rápida por injetor com malha de fios (utilizando o mecanismo de coagulação por adsorção-neutralização de cargas) e; ii) filtração com filtros rápidos descendentes em areia praticamente uniforme. As técnicas de tratamento dos resíduos estudadas foram: i) ETR₁: tanque de clarificação/adensamento por gravidade e leitos de drenagem; ii) ETR₂: lagoa de lodo; e iii) ETR₃: tanque de regularização de vazão. As alternativas de aproveitamento e de disposição dos resíduos analisadas foram: i) fabricação de bloco cerâmico ou tijolo; ii) recuperação de solo agrícola; iii) aterro industrial (Classe II); iv) estação de tratamento de esgoto - ETE e v) disposição em rede pluvial - para o clarificado obtido no tratamento do resíduo.

A elaboração do modelo precisou do estudo dos seguintes fatores:

1. Características das comunidades, analisando: população objetivo, consumo *per capita* incluindo perdas e número de horas de funcionamento das ETAs;
2. Particularidades das ETAs e ETRs, avaliando: vazão de projeto, qualidade da água bruta, volume diário de resíduos, critérios de projeto, aspectos construtivos e elaboração dos projetos "padrão", em AUTOCAD, para calcular os gastos envolvidos; e
3. Gastos, considerando: i) parâmetros básicos tais como: horizonte de projeto e taxa de retorno; ii) gastos com investimento, incluindo: construção, taxas e preços unitários; iii) gastos com funcionamento, envolvendo: a) operação e manutenção: energia elétrica, produtos químicos, monitoramento da qualidade da água, manutenção de equipamentos e pessoal, b) gastos com aproveitamento e disposição dos resíduos e c) despesas administrativas: pessoal e gastos gerais; e iv) cálculo do valor presente total.

As atividades adotadas para avaliar os fatores foram: i) revisão de literatura e legislação; ii) realização de visitas em 5 ETAs em escala real, no Brasil (ver Tabela 1); iii) agendamento de consultas com peritos brasileiros em projetos das ETAs; iv) elaboração dos projetos "padrão" das ETAs de FDD, em AUTOCAD; v) definição do método de cálculo para avaliação dos gastos com investimento e funcionamento dos sistemas; e vi) fixação dos requisitos de domínio do modelo.

Tabela 1. Características das ETAs de FDD Visitadas no Brasil em 2004 - (Sabogal Paz, 2007; 2010)

Cidade/Estado	Tipo de ETA	Vazão projeto da ETA (L/s)	Processos e Operações de Tratamento de Água	Tipo de Coagulante
Caraguatatuba/SP	FDD	150	$pOX_{cl}(1) + MRH_i(1) + FRDP_c(6) + DES_{cl}(1) + FLU(1) + A_{pH}$	Sulfato de alumínio
Ubatuba/SP		400	$pOX_{cl}(1) + MRH_i(1) + FRD_c(8) + DES_{cl}(1) + FLU(1) + A_{pH}(1)$	Sulfato de alumínio
Ilha Bela/SP		50	$pOX_{cl}(1) + MRH_i(1) + FRDP_c(2) + DES_{cl}(1) + FLU(1) + A_{pH}$	Sulfato de alumínio
Juquehy/SP		50	$pOX_{cl}(1) + MRH_i(1) + FRDP_c(2) + DES_{cl}(1) + FLU(1) + A_{pH}$	Sulfato de alumínio
São Francisco/SP		100	$pOX_{cl}(1) + MRH_i(1) + FRDP_c(3) + DES_{cl}(1) + FLU(1) + A_{pH}$	Sulfato de alumínio

FDD: tecnologia de filtração direta descendente

pOX_{cl}: pré-oxidação com cloro gasoso

FRDP_c: filtro rápido descendente a pressão

FLU: fluoreação com ácido fluossilícico

(): número de unidades dos processos ou das operações de tratamento de água.

MRH_i: mistura rápida por injetor

FRD_c: filtro rápido descendente a taxa constante

DES_{cl}: desinfecção com cloro gasoso

A_{pH}: ajuste de pH

Os fatores anteriores permitiram definir as variáveis e os indicadores dos gastos das ETAs de FDD que conformam o modelo conceitual, posteriormente, foram estabelecidos os critérios para estruturar-lo, permitindo a conjugação, de forma sistêmica, de seus componentes, utilizando como base os trabalhos desenvolvidos por CINARA (2001) e SABOGAL PAZ (2007; 2010). O modelo foi estruturado considerando: i) dados entrada – F (permite a "filtração" das opções tecnológicas sustentáveis - os dados são fornecidos pelo usuário do modelo), ii) critérios básicos – A (fazem referência aos aspectos previamente estabelecidos como conceitos, padrões e normas utilizados para, posteriormente, tomar decisões), iii) procedimentos – B (são executados com base na informação de entrada (F) e nos critérios básicos (A) - correspondem aos cálculos do modelo) e iv) seleções parciais – S (conforme os procedimentos (B) são construídas as seleções das alternativas segundo a magnitude dos gastos totais). Para compreender a estrutura do modelo foi necessário elaborar um diagrama de blocos, conforme exemplo da Figura 2.

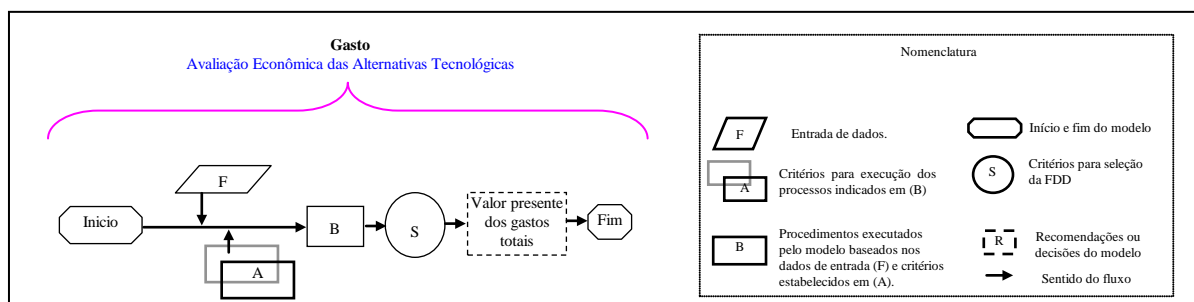


Figura 2. Diagrama de Blocos do Modelo Conceitual para Avaliação dos Gastos da Tecnologia de FDD - (Sabogal Paz, 2007; 2010)

RESULTADOS

Na pesquisa foram avaliadas populações brasileiras entre 5000 e 20000 habitantes com consumo *per capita* de 150 L/hab.dia e 24 horas de funcionamento das ETAs. Em relação às particularidades das ETAs, as vazões de projeto dos sistemas fixaram-se entre 10 e 40 L/s; isto gerou um volume de resíduos, para cada tipo de ETA, em função da operação "padrão" indicada na Tabela 2. As características da água bruta, para os projetos "padrão", em AUTOCAD, das ETAs, estão na Tabela 3. Os critérios de projeto, apresentados na Tabela 4, adotaram-se conforme a análise das experiências obtidas nas ETAs visitadas (Tabela 1) e a consulta de peritos brasileiros especialistas no dimensionamento de ETAs.

Tabela 2. Operação "padrão" das ETAs de FDD para avaliar o volume de resíduos (Sabogal Paz, 2010)

Tecnologia	Tipo de filtro	Duração da carreira de filtração	Tempo aproximado de lavagem do filtro
Filtração direta descendente	Filtro Rápido descendente	24 h	10 min

Tabela 3. Qualidade da água para os projetos "padrão", em AUTOCAD, das ETAs tipo FDD (Sabogal Paz, 2007; 2010)

Variáveis	Água Tipo
Taxa média de filtração ($m^3/m^2 \cdot dia$)	Filtro rápido descendente: 180
Turbidez (uT)	100% ≤ 25 , 95% ≤ 15 , 90% ≤ 10
Cor verdadeira (uH)	100% ≤ 20 , 95% ≤ 15 , 90% ≤ 10
Ferro total (mg/L)	100% ≤ 2 , 95% $\leq 1,5$, 90% ≤ 1
Manganês total (mg/L)	100% $\leq 0,7$, 95% $\leq 0,5$, 90% $\leq 0,2$
Coliformes totais (NMP/100mL)	100% ≤ 2500 , 95% ≤ 1500 , 90% ≤ 1000
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	100% ≤ 1000 , 95% ≤ 750 , 90% ≤ 500

Tabela 4. Critérios de projeto das ETAs de FDD - (Sabogal Paz, 2007; 2010)

Critério de Projeto (Variável)	Valor (Indicador)
Mistura rápida	
- Gradiente de velocidade médio obtido em Jarreste (s^{-1})	1000
- Tempo de mistura obtido em Jarreste (s)	10
Filtro Rápido Descendente	
- Taxa média de filtração ($m^3/m^2 \cdot dia$)	180
- Carga hidráulica disponível (m)	2
- Meio filtrante	
Espessura do meio filtrante (m)	1
Tamanho dos grãos (mm)	0,84 a 1,68
Tamanho efetivo - D_{10} (mm)	1
Coefficiente de desuniformidade - CD	1,25
- Camada suporte	
Espessura da camada suporte (m)	0,45
Número de subcamadas	7
Tamanho dos grãos (mm)	2,0 – 38,0

Nos gastos com investimento considerou-se: terreno, casa de química, escritórios, laboratórios, unidades em concreto, tratamento do resíduo, equipamentos, tubulações, conexões, válvulas e mão-de-obra. No caso dos gastos com funcionamento foram definidos os requerimentos de energia, produtos químicos, monitoramento da qualidade da água, pessoal e geração de resíduos. O cálculo dos gastos precisou do dimensionamento, em AUTOCAD, de 9 tipos de FDD, em função da combinação das vazões "padrão" (10, 20 e 40 L/s) e tratamentos dos resíduos (ETR_1 , ETR_2 e ETR_3). A Figura 2 apresenta exemplos dos projetos desenvolvidos.

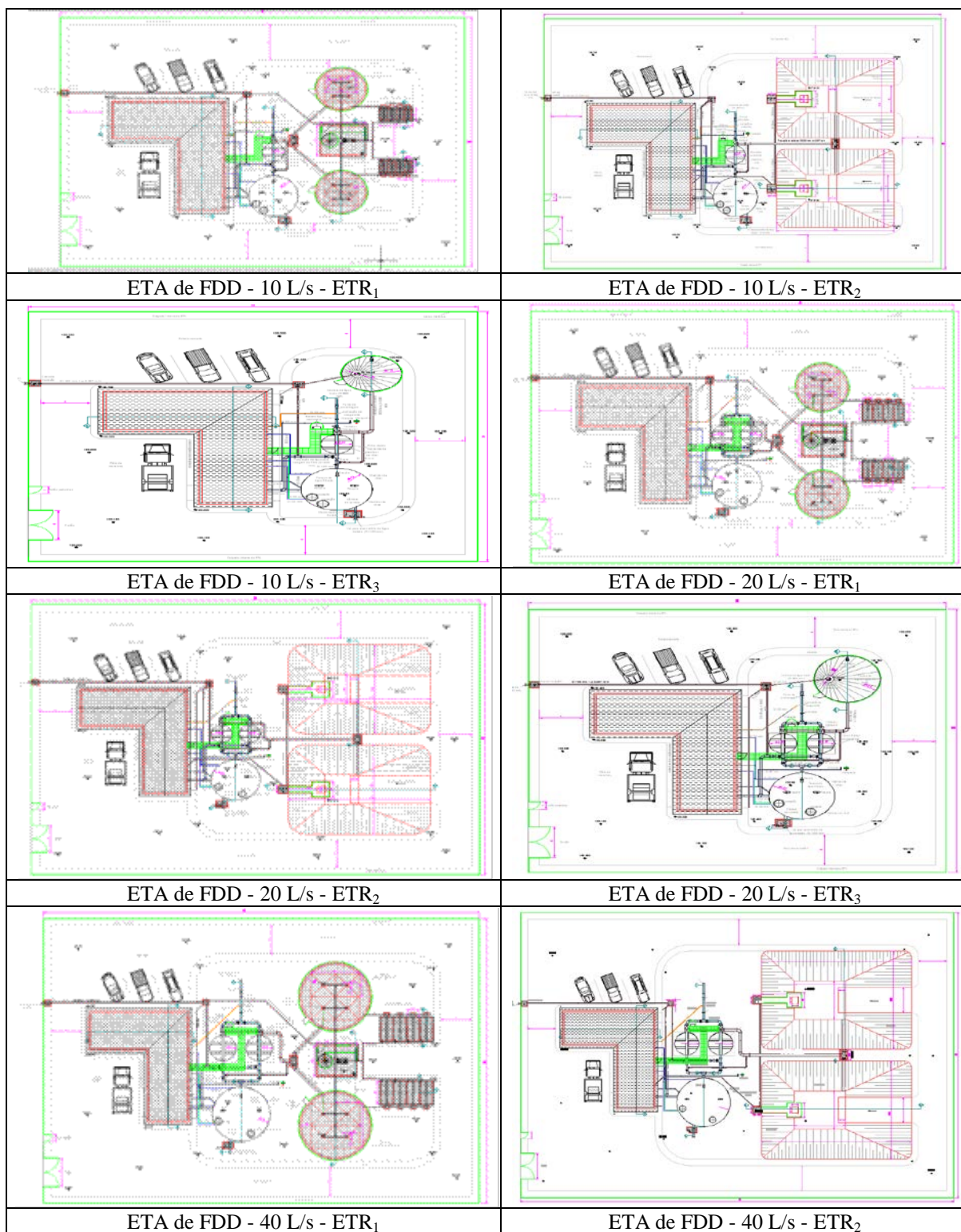


Figura 2. Exemplos das ETAs "padrão" de FDD projetadas em AUTOCAD - (Sabogal Paz, 2007; 2010)

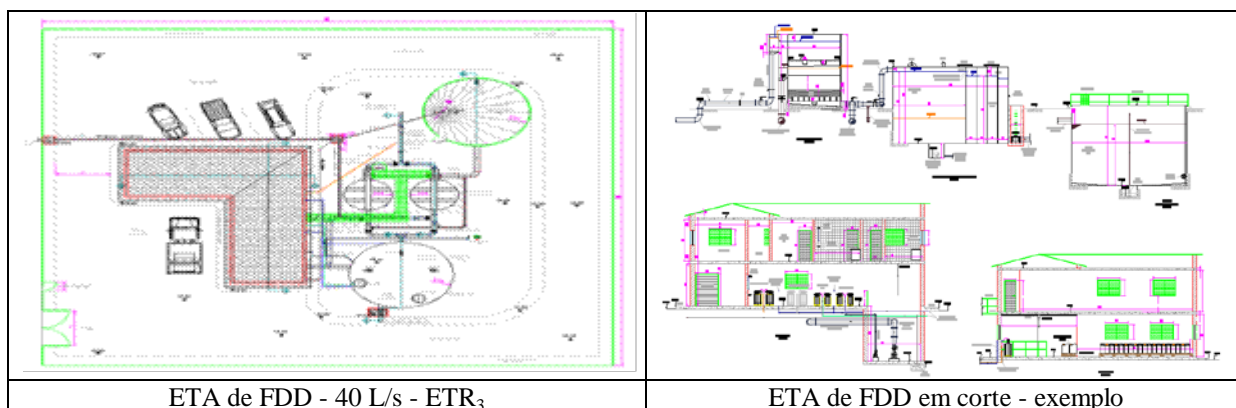


Figura 2. Exemplos das ETAs "padrão" de FDD projetadas em AUTOCAD (Sabogal Paz, 2007; 2010) - Cont.

Os gastos com investimento e funcionamento foram estabelecidos como modelos de quantitativos, segundo Tabelas 5 e 6, para cada um dos componentes dos sistemas (FDDs + ETRs). Nas Tabelas 5 a 6, os quantitativos (equações matemáticas) que indicam verba (vb) foram calculados em maio de 2007 e devem ser atualizados para o ano de interesse aplicando a seguinte equação: reajuste = índice do ano em análise/índice de maio de 2007. Nessas Tabelas verifica-se, também, a existência de valores constantes, essa situação acontece quando não há mudança do quantitativo em função da vazão de projeto da ETA. Destaca-se que os gastos podem ser calculados para qualquer taxa de retorno e horizonte de planejamento indicados pelo usuário do modelo.

Tabela 5. Modelos de quantitativos dos gastos com investimento da ETA de FDD (Sabogal Paz, 2007; 2010; Di Bernardo & Sabogal Paz, 2008)

Item	Unidade	FDD ₁ -ETR ₁	FDD ₁ -ETR ₂	FDD ₁ -ETR ₃
		Modelos de quantitativos de investimento		
1. Terreno para implantação da ETA + ETR				
Terreno	m ²	C = 0,51Q ² - 3Q + 1624	C = 0,34Q ² + 13,1Q + 1722	C = 0,35Q ² - 3,7Q + 1226
2. Implantação da ETA + ETR				
Limpeza manual do terreno	m ²	C = 0,51Q ² - 3Q + 1624	C = 0,34Q ² + 13,1Q + 1722	C = 0,35Q ² - 3,7Q + 1226
Mão-de-obra para abertura de vala	m ³	C = 0,002Q ² + 0,06Q + 23,8	C = 0,002Q ² + 0,09Q + 25,3	C = 0,0025Q ² - 0,015Q + 20,9
Nivelamento mecanizado do terreno (inclui mão-de-obra)	m ³	C = 0,153Q ² - 0,9Q + 487,2	C = 0,102Q ² + 3,93Q + 516,6	C = 0,105Q ² - 1,11Q + 367,8
Fôrma de madeira para fixação do alambrado na parte inferior	m ²	C = 0,0053Q ² + 0,16Q + 63,467	C = 0,005Q ² + 0,24Q + 67,467	C = 0,0067Q ² - 0,04Q + 55,733
Mourão de concreto armado (0,1m x 0,1m x 2,0m)	pç	C = 0,0067Q ² + 0,2Q + 79,333	C = 0,0067Q ² + 0,3Q + 84,333	C = 0,0083Q ² - 0,05Q + 69,667
Tela de arame galvanizado para alambrado (malha de 2" x 2")	m ²	C = 0,0267Q ² + 0,8Q + 317,33	C = 0,0267Q ² + 1,2Q + 337,33	C = 0,0333Q ² - 0,2Q + 278,67
Concreto de 20MPa	m ³	C = 0,0005Q ² + 0,016Q + 6,3467	C = 0,0005Q ² + 0,024Q + 6,7467	C = 0,0007Q ² - 0,004Q + 5,5733
Concreto para calçada interna 20MPa (e = 6cm)	m ³	C = 0,1Q + 19	C = 0,0033Q ² + 20,667	C = -0,0017Q ² + 0,15Q + 15,667
Portão ferro galvanizado basculante com instalação (4,0m x 2,0m)	pç	C = 1	C = 1	C = 1
Pedra nº 2 para espalhamento na área livre (e = 10cm)	m ³	C = 0,025Q ² - 0,15Q + 82	C = 0,02Q ² + 0,5Q + 88	C = 0,0183Q ² - 0,25Q + 62,667
Portão ferro galvanizado basculante com instalação (1,0m x 2,0m)	pç	C = 1	C = 1	C = 1
Locação de obra	m ²	C = 0,33Q ² - 1,9Q + 1056	C = 0,2233Q ² + 8,4Q + 1120,7	C = 0,2283Q ² - 2,45Q + 797,67
Poste de concreto armado (carga 200kg de 10m de altura)	pç	C = 6	C = 6	C = 6
Caixas de inspeção ou passagem (inclui mão-de-obra)	vb	C = 4000	C = 4000	C = 4000
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	C = 0,0536Q ² + 0,073Q + 324,21	C = 0,0397Q ² + 1,572Q + 340,62	C = 0,043Q ² - 0,3985Q + 275,16
Mão-de-obra de serventes gerais	h	C = 0,1334Q ² + 0,969Q + 856,13	C = 0,1446Q ² + 3,291Q + 914,18	C = 0,084Q ² + 0,615Q + 702,02
3. Misturador rápido				
Misturador rápido (flange, soldagem e instalação)	vb	C = 0,0225Q ² + 6,603Q + 213,62	C = 0,0225Q ² + 6,603Q + 213,62	C = 0,0225Q ² + 6,603Q + 213,62
4. Filtros Rápidos Descendentes e Passarela				
Chapa de aço 6,30mm	kg	C = 40Q	C = 40Q	C = 40Q
Chapa de aço 4,75mm	kg	C = 170Q	C = 170Q	C = 170Q
Acessórios metálicos (patamares, bocais, etc.)	vb	C = 140Q	C = 140Q	C = 140Q
Passarela metálica incluindo instalação	vb	C = -10Q ² + 600Q + 4000	C = -10Q ² + 600Q + 4000	C = -10Q ² + 600Q + 4000
Epóxi sumadur 194 ou Sumastic AWWA branco (Sumaré tintas ou similar)	L	C = 3,3Q	C = 3,3Q	C = 3,3Q
Mão-de-obra para construção de filtro	kg	C = 260Q	C = 260Q	C = 260Q
Meio filtrante e camada suporte	vb	C = -1,12Q ² + 387,84Q -224	C = -1,12Q ² + 387,84Q -224	C = -1,12Q ² + 387,84Q -224
Concreto 25MPa para fundação	m ³	C = -0,0033Q ² + 0,6Q - 0,6667	C = -0,0033Q ² + 0,6Q - 0,6667	C = -0,0033Q ² + 0,6Q - 0,6667

Obs: C= Quantitativo. O = vazão de projeto (L/s). (-) não aplica.

Obs: C= Quantitativo, Q = vazão de projeto (L/s), (-) não aplica.

Tabela 5. Modelos de quantitativos dos gastos com investimento da ETA de FDD (Sabogal Paz, 2007; 2010; Di Bernardo & Sabogal Paz, 2008) - Cont.

Item	Unidade	FDD ₁ - ETR ₁	FDD ₁ -ETR ₂	FDD ₁ - ETR ₃
		Modelos de quantitativo de investimento		
5. Tanque de água filtrada e câmara de contato				
Chapa de aço 6,30mm	kg	$C = 0,25Q^2 + 17,5Q + 1300$	$C = 0,25Q^2 + 17,5Q + 1300$	$C = 0,25Q^2 + 17,5Q + 1300$
Chapa de aço 4,75mm	kg	$C = 90Q + 3600$	$C = 90Q + 3600$	$C = 90Q + 3600$
Acessórios metálicos (patamares, bocais, etc.)	vb	$C = 0,7Q^2 + 7Q + 2240$	$C = 0,7Q^2 + 7Q + 2240$	$C = 0,7Q^2 + 7Q + 2240$
Epóxi sumadur 194 ou Sumastic AWWA branco (Sumaré tintas ou similar)	L	$C = 0,0067Q^2 + 2,1Q + 85,333$	$C = 0,0067Q^2 + 2,1Q + 85,333$	$C = 0,0067Q^2 + 2,1Q + 85,333$
Mão-de-obra para construção do tanque	kg	$C = 0,5Q^2 + 110Q + 5700$	$C = 0,5Q^2 + 110Q + 5700$	$C = 0,5Q^2 + 110Q + 5700$
Concreto 25MPa para fundação	m³	$C = 0,0033Q^2 + 0,2Q + 9,6667$	$C = 0,0033Q^2 + 0,2Q + 9,6667$	$C = 0,0033Q^2 + 0,2Q + 9,6667$
Armadura para a fundação (Ø12,50mm)	kg	$C = 0,1333Q^2 + 8Q + 386,67$	$C = 0,1333Q^2 + 8Q + 386,67$	$C = 0,1333Q^2 + 8Q + 386,67$
Escavação mecanizada de terra, profundidade maior que 2 m, inclui mão-de-obra (locação)	h	$C = 0,0067Q^2 - 0,2Q + 4,3333$	$C = 0,0067Q^2 - 0,2Q + 4,3333$	$C = 0,0067Q^2 - 0,2Q + 4,3333$
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	$C = 0,0099Q^2 + 0,384Q + 26,373$	$C = 0,0099Q^2 + 0,384Q + 26,373$	$C = 0,0099Q^2 + 0,384Q + 26,373$
Mão-de-obra de serventes gerais	h	$C = 0,0432Q^2 + 2,384Q + 123,04$	$C = 0,0432Q^2 + 2,384Q + 123,04$	$C = 0,0432Q^2 + 2,384Q + 123,04$
6. Tanques de Clarificação / Adensamento				
Escavação mecanizada de terra, profundidade maior que 2 m, inclui mão-de-obra (locação)	h	$C = 0,0607Q^2 + 0,62Q + 25,733$	(-)	(-)
Fôrma de madeira (fundo)	m²	$C = 0,0607Q^2 + 0,62Q + 35,733$	(-)	(-)
Concreto 25MPa para fundação (tipo radier; e = 25cm)	m³	$C = 0,04Q^2 - 0,7Q + 22$	(-)	(-)
Armadura para a fundação (Ø10mm - Aço CA50)	kg	$C = 1,6Q^2 - 28Q + 880$	(-)	(-)
Concreto de 25MPa (e=0,25m)	m³	$C = -0,04Q^2 + 2,4Q - 4$	(-)	(-)
Fôrma de madeira (elevações)	m²	$C = -0,4Q^2 + 24Q - 40$	(-)	(-)
Armadura (Ø10mm - Aço CA50)	kg	$C = -1,6Q^2 + 96Q - 160$	(-)	(-)
Portão metálico (1,0m x 0,7m)	pç	$C = 2$	(-)	(-)
Guarda-corpo (tubo 2" galvanizado)	m'	$C = 0,025Q^2 + 0,25Q + 65$	(-)	(-)
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	$C = -0,4161Q^2 + 41,096Q + 153,05$	(-)	(-)
Mão-de-obra de serventes gerais	h	$C = -0,4161Q^2 + 58,096Q + 333,05$	(-)	(-)
7. Casa de bombas				
Concreto 25MPa para fundação (tipo radier; e = 20cm)	m³	$C = 5$	(-)	(-)
Armadura para fundação (Ø 12,5mm)	m²	$C = 200$	(-)	(-)
Fôrma de madeira	m²	$C = -0,27Q^2 + 17,1Q + 132$	(-)	(-)
Concreto 25MPa para parede de arrimo (e= 30cm)	m³	$C = -0,027Q^2 + 1,71Q + 13,2$	(-)	(-)
Escavação mecanizada de terra, profundidade maior que 2m, inclui mão-de-obra (locação)	h	$C = -0,018Q^2 + 1,14Q + 8,8$	(-)	(-)
Armadura para parede de arrimo (Ø12,5mm)	kg	$C = -1,08Q^2 + 68,4Q + 528$	(-)	(-)
Bloco estrutural de concreto (14 x 19 x 39cm)	mil	$C = 5$	(-)	(-)
Bloco canaleta (14 x 19 x 39cm)	mil	$C = 0,06$	(-)	(-)
Argamassa de cimento, cal e areia para assentamento	m³	$C = 2$	(-)	(-)
Argamassa de cimento, cal e areia para revestimento	m³	$C = 5$	(-)	(-)
Graute (saco de 25kg)	sc	$C = 10$	(-)	(-)
Barras de aço Ø12,50mm	kg	$C = 26$	(-)	(-)
Laje pré-moldada de piso - H = 24cm (trilhos + EPS)	m²	$C = 6,3$	(-)	(-)
Concreto 25MPa para piso	m³	$C = 1$	(-)	(-)
Laje pré-moldada de forro - H = 12cm (trilhos + EPS)	m²	$C = 22,8$	(-)	(-)
Concreto 20MPa para forro	m³	$C = 1,82$	(-)	(-)
Viga de madeira (2,5m x 0,12m x 0,06m)	m	$C = 18$	(-)	(-)
Caibros (5,0 x 5,0cm)	m	$C = 50$	(-)	(-)
Telha de fibrocimento (canaleta 49)	pç	$C = 8$	(-)	(-)
Materiais consumíveis para telhado (pregos e guarnições)	vb	$C = 200$	(-)	(-)
Escada metálica tipo caracol com guarda-corpo (inclui instalação)	pç	$C = 1$	(-)	(-)
Janela de alumínio (0,60 x 0,80m)	pç	$C = 2$	(-)	(-)
Porta de alumínio (2,1m x 0,8 m)	pç	$C = 1$	(-)	(-)
Porta de correr (2,0m x 2,1 m)	pç	$C = 1$	(-)	(-)
Selador base acrílica	L	$C = -0,0133Q^2 + 0,9Q + 11,333$	(-)	(-)
Tinta látex acrílica branca	L	$C = -0,045Q^2 + 2,85Q + 22$	(-)	(-)
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	$C = -0,4914Q^2 + 31,122Q + 266,24$	(-)	(-)
Mão-de-obra de serventes gerais	h	$C = -0,6804Q^2 + 43,092Q + 409,94$	(-)	(-)
8. Leitos de Drenagem				
Fôrma de madeira (fundo)	m²	$C = 0,1Q + 5$	(-)	(-)
Concreto 25MPa para fundação (tipo radier; e = 20cm)	m³	$C = 0,3Q + 1$	(-)	(-)
Armadura para a fundação (Ø10 mm - Aço CA50)	kg	$C = 12Q + 40$	(-)	(-)
Concreto 20MPa (e = 0,15cm)	m³	$C = -0,0033Q^2 + 0,3Q + 1,3333$	(-)	(-)
Fôrma de madeira (elevações)	m²	$C = -0,0333Q^2 + 3Q + 13,333$	(-)	(-)
Armadura (Ø10 mm - Aço CA50)	kg	$C = -0,1333Q^2 + 12Q + 53,333$	(-)	(-)
Estrutura metálica (perfil de 75x50mm - 9kg /m' ou similar)	kg	$C = 0,0033Q^2 + 11,9Q + 580,67$	(-)	(-)
Cobertura plástica (e = 150µm ou similar)	m²	$C = -0,0333Q^2 + 4Q + 53,333$	(-)	(-)
Manta geotêxtil (Mactex ® ou similar, 600g/m², e= 4,1mm, permeabilidade = 0,35cm/s)	m²	$C = 0,05Q^2 - 0,5Q + 70$	(-)	(-)
Placa metálica de sustentação da manta geotêxtil (3kg/m' ou similar)	kg	$C = 0,1Q^2 - Q + 80$	(-)	(-)

Mão-de-obra de oficiais gerais	h	$C = -0,0307Q^2 + 12,95Q + 97,967$	(-)	(-)
Mão-de-obra de serventes gerais	h	$C = -0,104Q^2 + 14,35Q + 75,3$	(-)	(-)

**Tabela 5. Modelos de quantitativos dos gastos com investimento da ETA de FDD
(Sabogal Paz, 2007; 2010; Di Bernardo & Sabogal Paz, 2008) - Cont.**

Item	Unidad e	FDD ₁ - ETR ₁	FDD ₁ -ETR ₂	FDD ₁ - ETR ₃
		Modelos de quantitativo de investimento		
9. Lagoas de Lodo				
Escavação mecanizada de terra, profundidade maior que 2m, inclui mão-de-obra (locação)	h	(-)	$C = -0,01Q^2 + 2,4Q + 17$	(-)
Apiloamento com nivelamento do terreno	m²	(-)	$C = -0,0583Q^2 + 11,75Q + 288,33$	(-)
Geomembrana de PVC 290g/m² (ou similar)	m²	(-)	$C = -0,0583Q^2 + 11,75Q + 288,33$	(-)
Fôrma de madeira (rampa)	m²	(-)	$C = -0,0017Q^2 + 0,15Q + 8,6667$	(-)
Concreto 20MPa para rampa (e = 20 cm)	m³	(-)	$C = -0,0083Q^2 + 0,55Q + 12,333$	(-)
Concreto 25MPa (e = 25 cm)	m³	(-)	$C = -0,0017Q^2 + 0,25Q + 17,667$	(-)
Fôrma de madeira (estrutura de entrada)	m²	(-)	$C = -0,0167Q^2 + 2,5Q + 176,67$	(-)
Armadura (Ø10mm - Aço CA50)	kg	(-)	$C = -0,0667Q^2 + 10Q + 706,67$	(-)
Tábua (0,30m x 0,03m) - tipo cedrinho ou similar	m	(-)	$C = 30$	(-)
Guarda-corpo (tubo de 50mm galvanizado)	m'	(-)	$C = -0,0167Q^2 + 1,5Q + 46,667$	(-)
Grade do poço de sucção (1,20m x 1,20m / e= 6,30mm)	pç	(-)	$C = 2$	(-)
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	(-)	$C = -0,0863Q^2 + 11,458Q + 511,05$	(-)
Mão-de-obra de serventes gerais	h	(-)	$C = -0,1863Q^2 + 19,458Q + 805,05$	(-)
10. Tanque de regularização de vazão				
Chapa de aço 6,30mm	kg	(-)	(-)	$C = -1,3333Q^2 + 100Q + 133,33$
Chapa de aço 4,75mm	kg	(-)	(-)	$C = -3,3333Q^2 + 250Q + 333,33$
Acessórios metálicos (patamares, bocais, etc.)	vb	(-)	(-)	$C = -1,568Q^2 + 117,6Q + 156,8$
Epóxi sumadur 194 ou Sumastic AWWA branco (Sumaré tintas ou similar)	L	(-)	(-)	$C = -0,2Q^2 + 15Q + 20$
Mão-de-obra para construção do tanque	kg	(-)	(-)	$C = -3,0667Q^2 + 284Q + 1386,7$
Concreto 25MPa para fundação	m³	(-)	(-)	$C = -0,0067Q^2 + 0,8Q + 1,6667$
Armadura para a fundação (Ø12,50mm)	kg	(-)	(-)	$C = -0,2667Q^2 + 32Q + 66,667$
Escavação mecanizada de terra, profundidade maior que 2m, inclui mão-de-obra (locação)	h	(-)	(-)	$C = -0,02Q^2 + 2,1Q - 4$
Guarda-corpo (tubo de 50mm galvanizado)	m'	(-)	(-)	$C = -0,0167Q^2 + 1,5Q + 26,667$
Mão-de-obra de oficiais gerais	h	(-)	(-)	$C = -0,0513Q^2 + 5,66Q + 35,333$
Mão-de-obra de serventes gerais	h	(-)	(-)	$C = -0,118Q^2 + 13,66Q + 52$
11. Tubos, Conexões, Válvulas, Equipamentos, Laboratórios e Acessórios				
Custo das tubulações e conexões da ETA	vb	$C = -2,7489Q^2 + 574,96Q + 14454$	$C = -2,7489Q^2 + 574,96Q + 14454$	$C = -2,7489Q^2 + 574,96Q + 14454$
Custo das válvulas da ETA	vb	$C = -2,893Q^2 + 206,47Q + 142,71$	$C = -2,893Q^2 + 206,47Q + 142,71$	$C = -2,893Q^2 + 206,47Q + 142,71$
Custo da mão-de-obra para instalação na ETA	vb	$C = -2,2568Q^2 + 312,57Q + 5838,7$	$C = -2,2568Q^2 + 312,57Q + 5838,7$	$C = -2,2568Q^2 + 312,57Q + 5838,7$
Custo das tubulações e conexões da ETR	vb	$C = 2,4318Q^2 + 195,6Q + 10615$	$C = 9,6969Q^2 + 112,65Q + 6767,1$	$C = 12,179Q^2 - 300,73Q + 10058$
Custo das válvulas da ETR	vb	$C = 3,3568Q^2 - 52,104Q + 2227,9$	$C = 1,5112Q^2 + 56,257Q + 349,19$	$C = 0,8667Q^2 + 22,597Q + 173,35$
Custo da mão-de-obra para instalação na ETR	vb	$C = 2,3154Q^2 + 57,397Q + 5137,1$	$C = 4,4832Q^2 + 67,563Q + 2846,5$	$C = 5,2183Q^2 - 111,25Q + 4092,5$
Equipamentos da ETA	vb	$C = 7,8135Q^2 - 53,812Q + 27555$	$C = 7,8135Q^2 - 53,812Q + 27555$	$C = 7,8135Q^2 - 53,812Q + 27555$
Equipamentos das ETRs	vb	$C = -1,8733Q^2 + 112,4Q + 12003$	(-)	$C = -5,07Q^2 + 304,2Q + 8254$
Outros acessórios da ETA	vb	$C = 2705,8$	$C = 2705,8$	$C = 2705,8$
Laboratório físico e químico com vidraria	vb	Somatório de todos os equipamentos, vidraria e acessórios considerados pelo usuário do modelo.		
Laboratório microbiológico com vidraria	vb			
Obs: C= Quantitativo, Q = vazão de projeto (L/s), (-) não aplica.				

Obs: C= Quantitativo, Q = vazão de projeto (L/s), (-) não aplica.

Tabela 6. Modelos de quantitativos dos gastos com funcionamento da ETA de FDD (Sabogal Paz, 2007; 2010; Di Bernardo & Sabogal Paz, 2008)

Item	Unidade	FDD ₁ - ETR ₁	FDD ₁ -ETR ₂	FDD ₁ - ETR ₃
		Modelos de quantitativos de funcionamento		
1. Energia elétrica (consumo)				
Energia Elétrica da ETA (mensal)	kWh	C = 0,3302Q ² -9,905Q +1920	C = 0,3302Q ² -9,905Q +1920	C = 0,3302Q ² -9,905Q +1920
Energia Elétrica da ETR (mensal)	kWh	C =478,992	(-)	C = -0,72Q ² +43,2Q +600
2. Carga instalada				
Carga instalada somente da ETA	kW	C = 0,0333Q ² -1,0005Q +49,77	C = 0,0333Q ² -1,0005Q +49,77	C = 0,0333Q ² -1,0005Q +49,77
Carga instalada somente da ETR	kW	C=3,02	(-)	C = -0,003Q ² + 0,18Q + 2,5
Carga instalada do sistema (ETA+ETR)	kW	C = 0,0333Q ² -1,0005Q +52,79	C = 0,0333Q ² -1,0005Q +49,77	C = 0,0304Q ² -0,8205Q + 52,27
3. Demanda				
Demanda somente da ETA	kVA	C = 0,0382Q ² -1,145Q +49,286	C = 0,0382Q ² -1,145Q +49,286	C = 0,0382Q ² -1,145Q +49,286
Demanda somente da ETR	kVA	C = 3,45	(-)	C = -0,004Q ² + 0,237Q + 3,5852
Demanda do sistema (ETA+ETR)	kVA	C = 0,0382Q ² - 1,145Q + 52,739	C = 0,0382Q ² -1,145Q +49,286	C = 0,0342Q ² - 0,9076Q +52,871
3. Produto químico				
Hipoclorito de sódio (mensal)	kg	C = 0,1Q ² + 33Q + 80	C = 0,1Q ² + 33Q + 80	C = 0,1Q ² + 33Q + 80
Sulfato de alumínio (mensal)	L	C = 0,1Q ² + 45Q + 80	C = 0,1Q ² + 45Q + 80	C = 0,1Q ² + 45Q + 80
Cloreto férrico (mensal)	L	C = 36Q + 60	C = 36Q + 60	C = 36Q + 60
Ácido fluorsilícico (mensal)	kg	C = -0,1Q ² + 21Q -20	C = -0,1Q ² + 21Q -20	C = -0,1Q ² + 21Q -20
4. Controle da qualidade da água				
Controle da qualidade da água bruta (anual)	vb	Somatório de todos os parâmetros utilizados pelo usuário do modelo, conforme a frequência por ele indicada.		
Controle da qualidade da água tratada (anual)	vb			
5. Tratamento e disposição dos resíduos da ETA				
Água utilizada na limpeza das unidades (mensal)	m ³	C = -0,52Q ² + 164,4Q - 101	C = -0,52Q ² + 164,4Q - 101	C = -0,52Q ² + 164,4Q - 101
Retirada e disposição dos resíduos sólidos da ETA (anual) para ETR ₁ e ETR ₂	m ³	C = 0,0033Q ² + 3,3Q + 0,6667	C = 0,0033Q ² + 3,3Q + 0,6667	(-)
Retirada e disposição dos resíduos líquidos da ETA (mensal) para ETR ₃	m ³	(-)	(-)	C = -0,52Q ² + 164,4Q - 101

Obs: C= Quantitativo. Q = vazão de projeto (L/s). (-) não aplica.

Obs: C= Quantitativo, Q = vazão de projeto (L/s), (-) não aplica.

Os modelos de quantitativo são equações matemáticas (geralmente do tipo polinomial do segundo grau) que relacionam a vazão da ETA (L/s) com cada item de investimento ou de funcionamento. As fórmulas desenvolvidas permitem o cálculo dos custos dos itens envolvidos multiplicando o quantitativo pelo preço unitário (valor do m³, m², pç, kg, etc.) fornecido pelo usuário do modelo, para qualquer FDD com vazão de projeto entre 10 e 40 L/s. Após a introdução dos preços unitários de cada um dos itens dos modelos de quantitativos pode-se, então, estabelecer os gastos da FDD e, posteriormente, avaliar economicamente os sistemas utilizando o valor presente total representado pelas Equações 1 a 3.

$$VP_{inv} = C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \rightarrow \text{Eq. 1} \quad VP_{fun} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \rightarrow \text{Eq. 2} \quad VP_T = VP_{inv} + VP_{fun} \rightarrow \text{Eq. 3}$$

Em que, VP_{inv} : valor presente dos gastos com investimento; VP_{fun} : valor presente dos gastos com operação, manutenção e administração; VP_T : valor presente total, r : taxa de retorno; n : período correspondente ao horizonte de planejamento; C_i : custo em $t = i$, i : tempo em que se faz válido o custo C_i , C_0 : custo inicial em $t=0$.

Destaca-se que as equações matemáticas (modelos de quantitativos) foram obtidas após *plotar*, por tecnologia (FDD + ETR₁ ou FDD + ETR₂ ou FDD + ETR₃), os dados das vazões "padrão" avaliadas (10, 20 e 40 L/s) com seus respectivos quantitativos de investimento e de funcionamento (expressos em m³, m², pç, kg, etc.). As equações que apresentavam o melhor ajuste aos dados, por sistema (FDD + ETR), foram selecionadas e alocadas nas Tabelas 5 e 6.

A Figura 3 mostra o diagrama de blocos do modelo conceitual que avalia os gastos com investimento e funcionamento dos sistemas (FDDs + ETRs), incluindo técnicas de aproveitamento e de disposição dos resíduos. O modelo foi estruturado considerando dados entrada – F, critérios básicos – A, procedimentos – B e seleções – S, segundo Figura 3. Neste caso, F.1 solicita ao usuário do modelo a introdução dos preços unitários de cada um dos itens dos modelos de quantitativos dos gastos com investimento e funcionamento. Recomenda-se buscar os preços unitários em: i) revistas atualizadas de construção civil; ii) consultas com peritos especialistas em projeto e construção de ETAs; e iii) orçamentos de empresas especializadas.

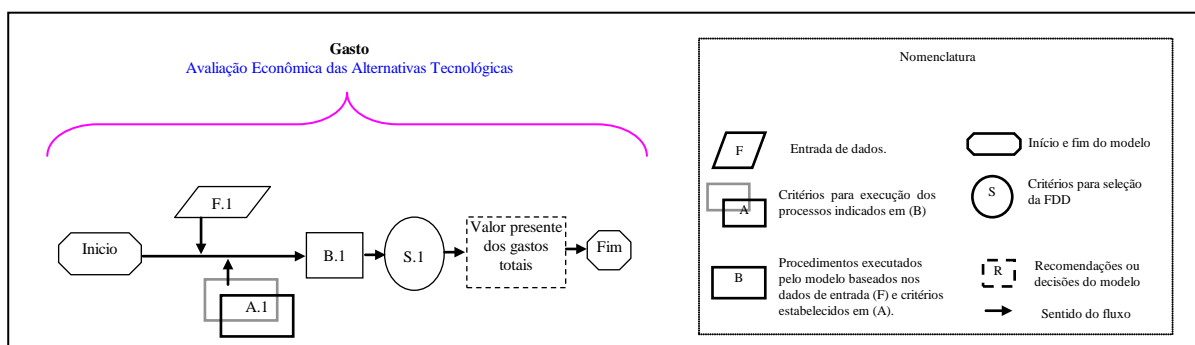


Figura 3. Diagrama de Blocos do Modelo Conceitual para Avaliação dos Gastos da Tecnologia de FDD (Sabogal Paz, 2007; 2010)

A atividade A.1, da Figura 3, deve conter todos os modelos de quantitativos da FDD (Tabelas 5 e 6). A atividade B.1 deve apresentar os procedimentos para avaliar economicamente as alternativas; neste caso, os gastos com investimento e funcionamento do sistema ($FDD + ETR$) são obtidos em função dos preços unitários fornecidos pelo usuário (dados de entrada – F.1) e os modelos de quantitativos contidos em A.1 (Tabelas 5 e 6). A atividade S.1 permite conhecer o valor presente total das alternativas avaliadas (utilizando as Equações 1 a 3) indicando, desta forma, a mais econômica ($FDD + ETR_1$ ou $FDD + ETR_2$ ou $FDD + ETR_3$). Destaca-se que o modelo conceitual pode ser facilmente convertido em *software* utilizando Excel ou outra base de programação.

CONCLUSÕES

O modelo ajuda o engenheiro projetista brasileiro na avaliação dos gastos da tecnologia de FDD, considerando tratamento, aproveitamento e disposição dos resíduos. No entanto, devem ser analisadas suas respostas e sua conveniência em função das particularidades da área de estudo. É importante ressaltar que os resultados obtidos pelo modelo mudam em função dos dados de entrada; assim, o usuário deve ter consciência da qualidade da informação fornecida para obter resultados satisfatórios.

As ETAs de FDD podem ser avaliadas, economicamente, com equações matemáticas simples, geralmente, do tipo polinomial do segundo grau, conforme Tabelas 5 e 6.

Os gastos das ETAs com ETRs dependem dos preços unitários, equipamentos, impostos, critérios de projeto, aspectos construtivos, etc. Assim, dificilmente podem ser comparados os resultados obtidos pelo modelo conceitual com sistemas já existentes de FDD.

O modelo foi desenvolvido considerando as particularidades (projeto, construção, operação, manutenção e administração) vigentes no Brasil. Caso o engenheiro projetista pretenda aplicar o modelo conceitual em outro país, cuidados devem ser tomados - os resultados devem ser avaliados, verificando sua conveniência no novo contexto.

Destaca-se que o modelo não avalia os gastos com financiamento, depreciação e tarifas (capacidade e disponibilidade de pagamento da população). Desta forma, o engenheiro projetista deve incluir, por sua conta, esses aspectos na sua avaliação econômica do projeto.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelas bolsas de doutorado e pós-doutorado concedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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, Fase III. Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia. Cali. Colombia.
2. DI BERNARDO, L; SABOGAL PAZ, L. P (2008). *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água*. Editora LDiBe. v 1 e v.2. p.1560.
3. SABOGAL PAZ. L. P (2007) *Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte*. 509 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. Brasil.
4. SABOGAL PAZ. L. P (2010). *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno e Médio Porte*. Pesquisa de Pós-Doutorado. Informe Científico Final. FAPESP. São Paulo/SP. Fevereiro.