

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E CUSTEIO DO CICLO DE VIDA DE EVAPORADORES PARA USINAS DE AÇÚCAR

Autores: Lino José Cardoso Santos e Jorge Alberto Soares Tenório

1 INTRODUÇÃO

As usinas de açúcar no Brasil utilizam intensamente aço carbono, um material de baixo custo, mas com pequena resistência a corrosão, o que acarreta a sua substituição em poucos anos. O material mais adequado para a substituição do aço carbono é o aço inoxidável, de excelentes características mecânicas e inércia química, sendo, entretanto, considerado um material caro. Este trabalho avaliou do ponto de vista ambiental e financeiro, tubos para evaporadores de usinas de açúcar construídos em aço carbono e, comparativamente, com os aços inoxidáveis 304, 444 e 439. Para a avaliação ambiental foi utilizada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Para a avaliação financeira foi utilizada a técnica de Custeio do Ciclo de Vida (CCV)

2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Na elaboração deste estudo, foram utilizados os procedimentos estabelecidos pelas normas ABNT NBR ISO 14040, ABNT NBR ISO 14041, ABNT NBR ISO 14042 e ABNT NBR ISO 14043.

A "avaliação do ciclo de vida" é uma poderosa ferramenta de gestão ambiental usada na determinação dos impactos ambientais associados a um produto, equipamento ou serviço, compreendendo todas as etapas da sua existência, desde a retirada das matérias-primas da natureza, transporte, produção, instalação, uso, manutenção, reposição, reciclagem e disposição final, ou seja, ao longo do seu ciclo de vida. Esta técnica pode ser usada na avaliação ambiental do ciclo de vida de um navio, uma usina de açúcar ou parte dela, como os tubos dos evaporadores. Neste trabalho foi feita a avaliação ambiental dos tubos de um sistema de evaporação de usina de açúcar, com pré-evaporador com 2.000 m² de superfície de troca térmica e quatro efeitos, cada um com 600 m². Foram comparados tubos com 38,10 mm de diâmetro externo, em aço carbono com 2,65 mm de espessura e nos aços inoxidáveis 304 e 444 com 1,20 e 1,50 mm de espessura, respectivamente, e no 439, com 1,50 mm. Os tubos do pré-evaporador possuíam 4.000 mm de comprimento e os tubos dos quatro efeitos 3.000 mm. Como os evaporadores são equipamentos de grande durabilidade, foi adotado um período de avaliação de 30 anos. O período anual efetivo da safra de açúcar foi considerado de 210 dias. Como vida útil "média" para os tubos fabricados em aço carbono e nos aços inoxidáveis os períodos de seis e trinta anos, respectivamente. Desta forma, no período de 30 anos, os tubos em aço carbono serão substituídos cinco vezes. Foi considerada uma perda de 5% dos tubos em aços inoxidáveis devido à falhas no mandrilamento. A Tabela 1 apresenta os dados relativos aos diferentes tipos de tubos em avaliação.

Tabela 1- Parâmetros característicos dos diferentes tipos de tubos

PARÂMETROS		TIPOS DE TUBOS					
		Aço-C	304		444		439
Espessura da Parede (mm)		2,65	1,20	1,50	1,20	1,50	1,50
Superfície Interna para Troca Térmica (m ² /m)		0,1030	0,1122	0,1103	0,1122	0,1103	0,1103
Massa por Metro Linear (kg/m)		2,32	1,11	1,37	1,09	1,35	1,32
Densidade (g/cm ³)		7,8	8,1		7,8		7,7
Pré-evaporador	Nº Tubos	4.958	4.551	4.630	4.551	4.630	4.630
	Massa do Pré-evaporador (t)	46,0	20,2	25,4	19,8	24,8	24,5
1º - 4º Efeitos	Nº Tubos	7.989	7.334	7.461	7.334	7.461	7.461
	Massa dos 4 Efeitos (t)	55,6	24,4	30,7	24,0	30,2	29,6
Número total de Tubos		12.947	11.885	12.091	11.885	12.091	12.091
Massa Total (t)		101,6	44,6	56,1	43,8	55,0	54,1
Massa total tubos aço em 30 anos (t)		508,0	46,8	58,9	46,0	57,8	56,8

2.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS AMBIENTAIS

Em um estudo de ACV devem ser considerados todos os aspectos ambientais relacionados aos materiais de interesse, que acontecem durante o período de avaliação do estudo. Neste trabalho foram consideradas como as mais importantes fontes de agressões ao meio ambiente a produção das bobinas de aço carbono e dos aços inoxidáveis, a produção, a instalação e a limpeza dos tubos, bem como o transporte, o gás natural e a energia elétrica utilizada. A Figura 1 apresenta um fluxograma representativo para este estudo.

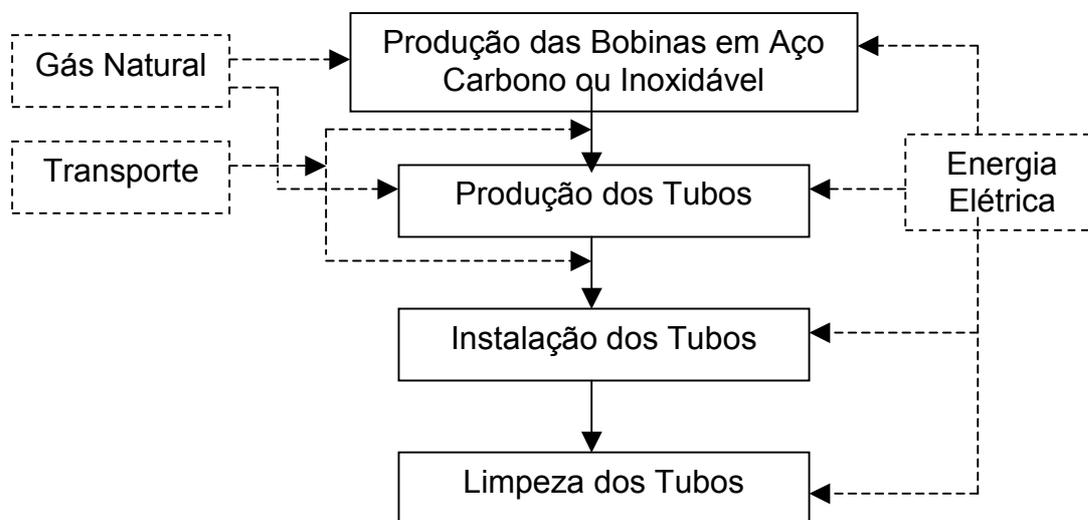


Figura 1 – Fluxograma das fontes de agressão ambiental para este estudo de ACV

Para a produção das bobinas de aço carbono e dos aços inoxidáveis foram utilizados dados levantados nos EUA, Europa e Ásia, já que eles não estão disponíveis no Brasil. Para a fabricação dos tubos foram utilizados dados de uma grande fábrica localizada na grande São Paulo, enquanto que os dados relativos a instalação e limpeza dos tubos foram fornecidos por uma grande usina de açúcar distante 430 km de São Paulo.

2.2 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS TUBOS UTILIZADOS.

Concluído o levantamento de dados relativos às agressões ambientais, eles são consolidados em uma nova planilha, onde é possível comparar a performance ambiental para cada tipo de tubo de aço em estudo. A Tabela 2 apresenta dados relativos a este estudo.

Tabela 2 – Avaliação ambiental dos tubos em aço carbono e aços inoxidáveis 304, 444 e 439

Aspecto Ambiental	Unidade	Tipos de Tubos					
		Aço-C	304		444		439
		2,65	1,20	1,50	1,20	1,50	1,50
Dióxido de Carbono (CO ₂)	t	1.370	311	390	265	337	338
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	t	2,38	0,78	0,98	0,71	0,89	0,87
Materiais Particulados	t	1,07	0,35	0,44	0,28	0,35	0,35
Óxidos de Enxofre (SO _x)	t	1,45	2,31	2,93	1,11	1,40	1,40
Materiais Suspensos	kg	108,0	2,0	2,5	6,6	8,3	8,2
Resíduos Totais	t	956	167	210	68	86	84
Energia Total	10 ⁶ MJ	16,1	2,9	3,7	2,5	3,0	3,2
Recursos Naturais não Renováveis Consumidos	t	1.550	124	157	117	140	142
Água Usada Total	10 ³ m ³	85,6	51,3	51,5	51,4	51,6	51,6

3 CUSTEIO DO CICLO DE VIDA (CCV)

O objetivo do CCV é oferecer ao engenheiro, ao empresário moderno e ao homem público uma ferramenta gerencial para a seleção de materiais ou produtos, que contabiliza os custos totais do sistema em análise, desde a sua concepção, até o fim de sua vida útil, ou seja, ao longo do seu ciclo de vida. Nesta abordagem são considerados os custos relativos ao projeto, aquisição, produção, transporte, instalação, operação, manutenções, desativação, reposição, reuso ou reciclagem dos materiais residuais, valores obtidos pela venda destes materiais, bem como o que se deixou de ganhar em termos financeiros ou dano ao público usuário pelas horas não trabalhadas. O somatório de todos estes custos permitirá selecionar a alternativa mais adequada econômica e financeiramente. Como o ciclo de vida de um sistema pode durar décadas, todos os custos incorridos neste período precisam ser tratados dentro do conceito do custo do dinheiro no tempo.

3.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS ECONÔMICO-FINANCEIROS

De forma semelhante à ACV, foi elaborado um levantamento que considerou os principais componentes de custo incorridos ao longo do período de tempo adotado para este estudo, que foram trinta anos.

Os componentes de custo considerados foram:

- a) preço dos tubos;
- b) transporte dos tubos;
- c) instalação e substituição dos tubos nos evaporadores;
- d) limpeza dos tubos; e,
- e) venda da sucata.

Para todos estes componentes de custo foram considerados valores levantados em março de 2007. Os valores relativos aos itens *a*, *b* e *e* foram levantados no mercado, enquanto que os itens *c* e *d* foram fornecidos pela usina informada no item anterior.

Como estes custos acontecem ao longo de trinta anos, eles foram corrigidos no tempo pela inflação. Estas análises financeiras precisam comparar cenários homogêneos e, assim sendo, todos os gastos foram trazidos ao valor presente (VP). Isto foi feito utilizando a taxa nominal de juros ao invés da inflação por que, neste caso, foi assumido que um montante não gasto num determinado momento, poderia ser aplicado no mercado financeiro. Em março de 2007 a previsão de inflação medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) era de 3,8%. Neste mesmo mês, a taxa nominal de juros medida pela Selic era de 11,5%.

A Tabela 3 apresenta os valores presentes para os diferentes componentes de custos e tipos de tubos. Na elaboração desta Tabela foi utilizado o conceito de fluxo de caixa, onde os desembolsos são apresentados entre parênteses (valor negativo), enquanto que as receitas correspondem a crédito (valor positivo). A última coluna a direita apresenta o somatório destas atualizações financeiras ao tempo zero do estudo. Estes valores representam a oportunidade relativa para cada tipo de tubo. Ou seja, o tipo de tubo que apresentar o maior VP é a melhor opção de escolha para investimento. Como todos os VP estão entre parênteses (valores negativos), a melhor opção de investimento é aquela que corresponde ao menor valor numérico entre parênteses, ou seja, gastou-se menos naquele investimento.

Tabela 3 – Valores presentes relativos aos componentes de custo em estudo

UNIDADES	VALOR PRESENTE (R\$)					
	Compra dos Tubos	Transporte dos Tubos	Instalação / Substituição dos Tubos	Limpeza dos Tubos	Venda Sucata	Somatório dos Valores Presentes
Tubos Aço-C, 2,65 mm	(801.761,00)	(22.703,00)	(323.628,00)	(453.242,00)	58.518,00	(1.542.816,00)
Tubos Inox 439, 1,50 mm	(800.841,00)	(8.000,00)	(83.029,00)	(282.067,00)	5.696,00	(1.168.241,00)
Tubos Inox 444, 1,20 mm	(861.827,00)	(7.540,00)	(81.613,00)	(276.361,00)	4.613,00	(1.222.728,00)
Tubos Inox 444, 1,50 mm	(1.069.915,00)	(9.412,00)	(83.029,00)	(282.067,00)	5.791,00	(1.438.783,00)
Tubos Inox 304, 1,20 mm	(1.209.032,00)	(9.339,00)	(81.613,00)	(276.361,00)	41.676,00	(1.534.669,00)
Tubos Inox 304, 1,50 mm	(1.517.359,00)	(11.731,00)	(83.029,00)	(282.067,00)	52.422,00	(1.841.764,00)

Observação: Foi utilizado nesta Tabela o conceito de fluxo de caixa. Os desembolsos são apresentados entre parênteses (valor negativo). As receitas correspondem a crédito (valor positivo).

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivos as comparações de desempenho ambiental e financeiro de um sistema de evaporação para usinas de açúcar cujos tubos de troca térmica são construídos em aço carbono com 2,65 mm de espessura e, comparativamente, com os aços inoxidáveis 304, 444 e 439. Para os dois primeiros foram usados tubos com 1,20 mm e 1,50 mm de espessura, respectivamente. Para o aço 439 foram usados tubos com 1,50 mm. O período de tempo desta análise foi de trinta anos.

Para a avaliação ambiental foi utilizada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Com base no objetivo e no escopo deste estudo de ACV, concluiu-se que:

- 1) Os tubos em aço carbono com 2,65 mm de espessura apresentaram um desempenho ambiental inferior aos tubos em aços inoxidáveis 304, 444 e 439, nas espessuras de 1,20 e 1,50 mm, pois emitiram mais que:
 - 4,2 vezes a quantidade de dióxido de carbono;
 - 2,8 vezes a quantidade de óxidos de nitrogênio;
 - 3,1 vezes a quantidade de materiais particulados;
 - 13 vezes a quantidade de materiais suspensos;
 - 4,5 vezes a quantidade de resíduos totais.
- 2) Os tubos em aço carbono consumiram mais que:
 - 11 vezes o total de recursos naturais não renováveis (carvão metalúrgico; lignita; calcita; dolomita; óleo bruto; gás natural e minérios de ferro, cromo, níquel, molibdênio e manganês);
 - 1,8 vezes a quantidade de água utilizada;
 - 5 vezes a quantidade de energia primária total.
- 3) Os tubos em aço carbono é menos impactante ao meio ambiente quando comparado com os tubos em aço inoxidável 304 quanto à emissão de óxidos de enxofre, já que emitiram a metade, aproximadamente, deste poluente.
- 4) Os tubos em aço carbono e nos aços inoxidáveis 444 e 439 emitiram quantidades semelhantes de óxidos de enxofre.
- 5) As emissões de óxidos de enxofre dos sistemas de produtos tubos em aços inoxidáveis informadas neste estudo estão superestimadas, tendo em vista a matriz energética dos países em que os dados foram coletados ter uma predominância da termoeletricidade.

Para a avaliação financeira foi utilizada a técnica de Custeio do Ciclo de Vida (CCV). Para os fatores de custos estudados, tendo em vista as condições econômicas e financeiras consideradas, concluiu-se que:

- 6) Os tubos fabricados com os aços inoxidáveis 439 e 444 apresentaram-se como opções de investimento mais interessantes que os tubos fabricados em aço carbono, já que apresentaram custos trazidos ao valor presente (VP) menores, nas seguintes proporções:
 - Tubos em aço 439 com 1,50 mm igual a 0,76;
 - Tubos em aço 444 com 1,20 mm igual a 0,79; e,
 - Tubos em aço 444 com 1,50 mm igual a 0,93.
- 7) Os tubos fabricados com aço carbono e os tubos fabricados com aço inoxidável 304 com 1,20 mm de espessura mostraram-se opções de investimento semelhantes.
- 8) Os tubos fabricados com aço inoxidável 304 com 1,50 mm de espessura são opções de investimento menos atraentes que os tubos em aço carbono com 2,65 mm de espessura, já que apresentaram custos trazidos ao valor presente (VP) 1,19 vezes maior.
- 9) Em um levantamento de custos semelhante ao realizado neste trabalho, muitos custos menores não são computados ou são absorvidos pelas despesas de “manutenção”. Pode-se citar o maior número de paradas para fechamento dos tubos de aço carbono furados ao longo da safra e a menor transferência de calor dos tubos de aço carbono mais facilmente incrustados ou fechados.
- 10) As metodologias de ACV e CCV devem ser usadas em conjunto, pois mostram que produtos mais seguros ambientalmente podem vir a ser opções de investimento também mais interessantes, quando avaliadas ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos ou serviços em avaliação.

Este resumo foi elaborado a partir da tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em outubro de 2007 para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Os interessados poderão acessar o documento completo em:
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-08012008-151424/>