

III-178 - ANÁLISE COMPARATIVA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS DE CIMENTEIRAS BRASILEIRAS UTILIZANDO O ÍNDICE DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS (IDRSI)

Hosmanny Mauro Goulart Coelho⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre, Doutor e Pós-Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Especialista em Fontes Alternativas de Energia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

Lineker Max Goulart Coelho

Engenheiro Civil pela UFMG e pela Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental Ecole des Ponts Paris Tech (ENPC). Professor assistente da Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba.

Liséte Celina Lange

Química e Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Imperial College – London University. Professora Associada do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG).

Matheus Rennó Sartori

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Pesquisador de Iniciação Científica.

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia – Campus Pampulha – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Bloco 2 – Sala 4628 – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30270-901 – Brasil - Tel: +55 (31) 3409-1039 - Fax: +55 (31) 3409-1879 - e-mail: hosmanny@hotmail.com

RESUMO

A busca por maior eficiência ambiental nas indústrias depende de um conhecimento prévio sobre os dados intrínsecos ao seu setor industrial, bem como de um modelo que permita agregar e forma rápida, simples e robusta os dados disponíveis, e a partir deles tomar as decisões mais apropriadas. Diante disso, o desenvolvimento de um índice para o gerenciamento de resíduos sólidos permitirá que se avalie essa eficiência ambiental para então estabelecer estratégias que levarão a uma produção mais limpa. Nesse contexto, o Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais (IDRSI) foi desenvolvido com o objetivo de possibilitar uma avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias, e apoiar os gestores em suas tomadas de decisão. O presente trabalho tem por finalidade apresentar uma análise comparativa da avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias brasileiras do setor cimenteiro utilizando o índice de destinação de resíduos industriais (IDRSI). Constatou-se que o Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais (IDRSI) é uma ferramenta que reflete numericamente qualidades e defeitos de um sistema gerencial de produção, permitindo a identificação pontual de problemas. Os valores numéricos obtidos tanto para o produtório quanto para o somatório demonstram realmente a melhoria ou piora do manejo de resíduos industriais, ressaltando a aplicabilidade do Índice. O IDRSI constitui, por um lado, uma advertência aos gestores ambientais, pelo resultado obtido no Índice e, por outro, um guia para a melhoria da gestão, a ser definida a partir indicadores obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Industriais, Resíduos Sólidos Industriais, Gerenciamento de Resíduos Industriais, Destinação de Resíduos, Índice de Destinação.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos de indústrias têm trazido grandes preocupações à sociedade, devido ao crescente aumento da geração e os respectivos danos causados na ausência de seu adequado gerenciamento. De fato, a destinação inadequada desses resíduos pode conduzir a diversos impactos ao meio ambiente em geral. Logo, observa-se a fundamental importância da adoção de medidas práticas que busquem reverter essa situação. Em um quadro

geral, por meio da conscientização da sociedade e, mais especificamente, pelo estabelecimento de padrões de qualidade ambiental a serem seguidos.

Dentre outros aspectos, a busca por maior eficiência ambiental nas indústrias depende de um conhecimento prévio sobre os dados intrínsecos ao seu setor industrial, bem como de um modelo que permita agregar e forma rápida, simples e robusta os dados disponíveis, e a partir deles tomar as decisões mais apropriadas. Diante disso, o desenvolvimento de um índice para o gerenciamento de resíduos sólidos permitirá que se avalie essa eficiência ambiental para então estabelecer estratégias que levarão a uma produção mais limpa.

Nesse contexto, o Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais (IDRSI) foi desenvolvido por Coelho(2011a, 2011b) com o objetivo de possibilitar uma avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias, e apoiar os gestores em suas tomadas de decisão.

O IDRSI é composto por 20 indicadores, que se agruparam em sete sub-índices: Minimização da Geração de Resíduos (IMR), Reutilização/Reaproveitamento (IRR), Reciclagem (IRC), Co-processamento de Resíduos (ICO), Incineração de Resíduos (IIN), Disposição Final de Resíduos (IDF) e Resíduos Estocados (IES). Sua escala de variação é de zero a um, sendo que o valor de eficiência máxima é um. Para a seleção e ponderação desses indicadores foi realizada uma pesquisa de opinião baseada no Método Delphi, conforme detalhado por Lindstone e Turoff (2002).

A base de referência que orientou as avaliações do Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais foi obtida a partir da realização de pesquisas em relatórios ambientais e documentos auditáveis, bem como em visitas técnicas em indústrias dos setores automotivo, cimenteiro, energético, laticínios, siderúrgico e têxtil. O Índice desenvolvido vem sendo simulado a partir de dados reais de indústrias e os resultados obtidos têm se mostrado uma excelente ferramenta de avaliação e gestão de resíduos no setor industrial.

OBJETIVO

O presente trabalho tem por finalidade apresentar uma análise comparativa da avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias brasileiras do setor cimenteiro utilizando o índice de destinação de resíduos industriais (IDRSI).

METODOLOGIA UTILIZADA

Para realizar a análise comparativa do gerenciamento de resíduos sólidos industriais foi calculado o índice IDRSI a partir dos dados obtidos de duas indústrias brasileiras, especificamente do setor cimenteiro.

Para o cálculo do IDRSI foram utilizados os métodos Somatório e o Produtório, conforme as equações 1 e 2:

$$IDRSI = \sum_{i=1}^n wiqi \quad \text{equação (1)}$$

$$IDRSI = \prod_{i=1}^n q_i^{wi} \quad \text{equação (2)}$$

Em que: wi = peso atribuído a cada indicador cujo somatório é igual a 1; qi = valor normalizado do indicador; i = indicador de destinação de resíduos sólidos industriais incluído no índice; n = número total de indicadores do índice. A Tabela 1 mostra como os indicadores são calculados. Ressalta-se que os indicadores são normalizados para valores entre 0 e 1 utilizando para isso valores de referência (benchmarks) mínimos e máximos para cada indicador determinados, conforme descrito em Coelho (2011).

A partir do cálculo IDRSI, cujo resultado pode variar entre 0 e 1, as indústrias foram classificadas quanto ao desempenho em relação à destinação de seus resíduos, nas faixas de variação apresentadas na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta os indicadores e os respectivos pesos utilizados nos cálculos do IDRSI.

Maiores detalhes do modelo matemático e procedimentos utilizados no desenvolvimento do IDRSI são fornecidos em Coelho 2011.

Tabela 1: Descrição do método de cálculo de cada indicador.

Indicador	Método de cálculo do indicador
MR-1	$\frac{[\text{total de resíduos gerados no ano atual (t)} / \text{total de produtos produzidos no ano atual (t)}]}{[\text{total resíduos gerados no ano anterior (t)} / \text{total produtos produzidos no ano anterior (t)}]}$
MR-2	$\frac{[\text{resíduos classe I (perigosos) gerados no ano atual (t)} / \text{total produtos produzidos no ano atual (t)}]}{[\text{resíduos classe I (perigosos) gerados no ano anterior (t)} / \text{total produtos produzidos no ano anterior (t)}]}$
MR-4	$\frac{[\text{resíduos classe I (perigosos) gerados no ano atual (t)} / \text{total resíduos gerados no ano atual (t)}]}{[\text{resíduos classe I (perigosos) gerados no ano anterior (t)} / \text{total resíduos gerados no ano anterior (t)}]}$
RR-1	percentual total de resíduos reutilizados ou reaproveitados em relação ao total de resíduos gerados no ano atual (%)
RR-2	$\frac{[\text{total de resíduos reaproveitados no ano atual (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano atual (t)}]}{[\text{total resíduos reaproveitados no ano anterior (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano anterior (t)}]}$
RR-4	percentual de substituição de combustível não renovável na produção decorrente da reutilização ou reaproveitamento de resíduos no ano (%)
RR-5	percentual de substituição de matéria-prima decorrente da reutilização ou reaproveitamento de resíduos no ano (%)
RR-6	percentual de resíduo total transferido a outra indústria para substituição de matéria-prima ou aproveitamento energético (%)
RC-1	percentual de total de resíduos reciclados em relação ao total de resíduos gerados no ano atual (%)
RC-2	$\frac{[\text{total de resíduos reciclados no ano atual (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano atual (t)}]}{[\text{total resíduos reciclados no ano anterior (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano anterior (t)}]}$
RC-4	percentual de substituição de combustível não renovável na produção decorrente da reciclagem de resíduos no ano atual (%)
RC-5	percentual de substituição de matéria-prima decorrente da reciclagem de resíduos no ano atual (%)
CO-3	$\frac{[\text{total de resíduos co-processados no ano atual (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano atual (t)}]}{[\text{total resíduos co-processados no ano anterior (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano anterior (t)}]}$
CO-4	$\frac{[\text{resíduos classe I co-processados no ano atual (t)} / \text{resíduos classe I gerados no ano atual (t)}]}{[\text{resíduos classe I co-processados no ano anterior (t)} / \text{resíduos classe I gerados no ano anterior (t)}]}$
IN-3	$\frac{[\text{total de resíduos incinerados no ano atual (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano atual (t)}]}{[\text{total resíduos incinerados no ano anterior (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano anterior (t)}]}$
IN-4	$\frac{[\text{resíduos classe I incinerados no ano atual (t)} / \text{resíduos classe I gerados no ano atual (t)}]}{[\text{resíduos classe I incinerados no ano anterior (t)} / \text{resíduos classe I gerados no ano anterior (t)}]}$
DF-3	$\frac{[\text{total de resíduos aterrados no ano atual (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano atual (t)}]}{[\text{total resíduos aterrados no ano anterior (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano anterior (t)}]}$
DF-4	$\frac{[\text{resíduos classe I aterrados no ano atual (t)} / \text{resíduos classe I gerados no ano atual (t)}]}{[\text{resíduos classe I aterrados no ano anterior (t)} / \text{resíduos classe I gerados no ano anterior (t)}]}$
ES-3	$\frac{[\text{total de resíduos estocados no ano atual (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano atual (t)}]}{[\text{total resíduos estocados no ano anterior (t)} / \text{total de resíduos gerados no ano anterior (t)}]}$
ES-4	$\frac{[\text{resíduos classe I estocados no ano atual (t)} / \text{resíduos classe I gerados no ano atual (t)}]}{[\text{resíduos classe I estocados no ano anterior (t)} / \text{resíduos classe I gerados no ano anterior (t)}]}$

Tabela 2: Faixas de Classificação do IDRSI.

Faixa de Variação	Classificação do IDRSI
0,9 a 1,0	EXCELENTE
0,8 a 0,9	MUITO BOM
0,7 a 0,8	BOM
0,6 a 0,7	REGULAR
0,5 a 0,6	TOLERÁVEL
0,4 a 0,5	RUIM
< 0,4	MUITO RUIM

Tabela 3: Pesos utilizados obtidos para os Indicadores do IDRSI.

Sub-índice	Código do Indicador	Pesos Obtidos	Percentual do IDRSI (%)
Minimização (IMR)	MR-1	0,068	19,6
	MR-2	0,066	
	MR-4	0,062	
Reaproveitamento (IRR)	RR-1	0,038	17,3
	RR-2	0,035	
	RR-4	0,033	
	RR-5	0,033	
	RR-6	0,034	
Reciclagem (IRC)	RC-1	0,046	16,9
	RC-2	0,042	
	RC-4	0,039	
	RC-5	0,042	
Co-processamento (ICO)	CO-3	0,058	11,8
	CO-4	0,060	
Incinerção (IIN)	IN-3	0,059	11,7
	IN-4	0,058	
Disposição Final (IDF)	DF-3	0,062	12,3
	DF-4	0,061	
Estocagem (IES)	ES-3	0,052	10,4
	ES-4	0,052	

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 4 apresenta os dados obtidos das empresas avaliadas, utilizados como parâmetros de entrada nos cálculos dos indicadores e do IDRSI. Analisando-se a Tabela 4 se pode constatar que nos anos de 2011 e 2012, a indústria cimenteira A reutilizou percentuais de aproximadamente 50% de seus resíduos gerados, enquanto que a indústria cimenteira B reciclou percentuais da ordem de 55%.

Constata-se que tanto na cimenteira A quanto na B, o modo de destinação da maior parte dos resíduos é similar, pois quase 100% gerados são reutilizados ou reciclados. O mesmo se observa para a destinação do restante que se divide entre co-processamento, aterramento e estocagem.

Observando-se os dados de 2011 e 2012 contidos na Tabela 4, percebe-se que a produção de cimento na indústria cimenteira A foi de 8,8% e 10,4% superior à cimenteira B, respectivamente.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados obtidos para o cálculo do IDRSI pelo método somatório para a indústria cimenteira A e B, respectivamente, bem como os valores de pesos de cada indicador e os valores de referência (benchmarks) utilizados para normalizar os dados.

Analisando-se comparativamente os dados das duas indústrias cimenteiras brasileiras apresentados na Tabela 4, verifica-se que houve uma piora no processo de produção da cimenteira A quanto a performance no gerenciamento de resíduos sólidos. Para 9,7% de aumento de produção, a geração de resíduos aumentou 39,1%. No caso indústria cimenteira B, também ocorreu piora, mas menos significativa que à da indústria. A produção aumentou aproximadamente 8%, mas a geração dos resíduos aumentou em 16,8%. De fato, os resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6 mostram como o cálculo do IDRSI pelo método do somatório refletiu

essa diferença do processo da produção e do gerenciamento dos resíduos sólidos industriais das duas cimenteiras avaliadas. Em contra partida, apesar de gerar mais resíduos a indústria A envia parte deste para disposição final adequada em aterro sanitário diferentemente da indústria B.

Nota-se que a indústria cimenteira B obteve um IDRSI igual a 0,461 (na faixa de classificação ruim), a cimenteira A alcançou 0,601 (faixa de classificação regular) mostrando que ambas precisam de melhorias consideráveis em seu sistema de gerenciamento de resíduos sólidos principalmente no que tange a minimização de resíduos para cada tonelada de produto gerado, critério no qual ambas indústrias tiraram valor zero nos três indicadores relacionados a este sub-índice. Isso indica que tais indústrias apresentam sistemas de produção com geração de resíduos bem acima dos valores máximos de referência para tal segmento industrial. A indústria B particularmente teve sua performance bastante afetada por não fazer a disposição final adequada de seus resíduos obtendo valor nulo para os sub-índice disposição final.

Os valores relacionados ao método do produtorio não foram apresentados porque tendo em vista que alguns indicadores normalizados apresentaram valor nulo consequentemente o valor do índice IDRSI pelo método do produtorio foi zero para ambas as indústrias. Trata-se de uma das desvantagens deste método de agregação, ou seja, quando um valor de indicador é nulo o índice também torna-se nulo.

Tabela 4: Dados de entrada utilizados no cálculo do IDRSI – Indústrias do Setor Cimenteiro.

Setor Industrial: Cimenteiro	Brasileira A		Brasileira B	
	Ano		Ano	
	2011	2012	2011	2012
Produção (t/ano):	2.998.172	3.287.817	2.756.876	2.977.549
Quantidade total de resíduo sólido gerada (t/ano):	27.270	37.924	26.901	31.430
Quantidade de resíduo sólido perigoso gerada (t/ano):	27.168	37.897	26.710	31.220
Quantidade de resíduo sólido não-perigoso gerada (t/ano):	102	27	191	210
Quantidade total de resíduo sólido reutilizada ou reaproveitada (t/ano):	13.461	18.894	14.691	17.171
Percentual de combustível não-renovável poupado devido à reutilização ou reaproveitamento de resíduo sólido (%):	0	0	0	0
Percentual de matéria-prima poupada devido à reutilização ou reaproveitamento de resíduo sólido (%):	0	0	0	0
Percentual de resíduo transferido à outra indústria para servir como matéria-prima ou combustível (%):	0	0	0	0
Quantidade de resíduo sólido reciclada (t/ano):	13.461	18.894	12.020	14.049
Percentual de combustível não-renovável poupado devido à reciclagem de resíduo sólido (%):	0	0	0	0
Percentual de matéria-prima poupada devido à reciclagem de resíduo sólido (%):	0	0	0	0
Quantidade de resíduo sólido co-processada (t/ano):	57	63	89	95
Quantidade de resíduo sólido perigoso co-processada (t/ano):	57	63	16	18
Quantidade de resíduo sólido incinerada (t/ano):	0	0	0	0
Quantidade de resíduo sólido perigoso incinerada (t/ano):	0	0	0	0
Quantidade de resíduo sólido aterrada (t/ano):	190	46	42	51
Quantidade de resíduo sólido perigoso aterrada (t/ano):	190	46	44	46
Quantidade de resíduo sólido estocada (t/ano):	102	27	6	5
Quantidade de resíduo sólido perigoso estocada (t/ano):	0	0	0	0

Tabela 5: Resultados do Cálculo do IDRSI (Método Somatório) da Indústria Cimenteira A.

Sub-índice	Indicador	Benchmarks		Valor Normalizado	Indicador Normalizado x Peso	Total do Sub-índice	Valor Índice IDRSI
		(Vmín)	(Vmáx)	(Vnorm)			
IMR	MR-1	0,0041	0,5011	0,00	0,000	0,000	0,601
	MR-2	0,0000	0,0275	0,00	0,000		
	MR-4	0,0024	0,0735	0,00	0,000		
IRR	RR-1	0,0778	0,3801	1,00	0,038	0,073	
	RR-2	0,0136	0,1570	1,00	0,035		
	RR-4	0,0000	1,0000	0,00	0,000		
	RR-5	0,0000	1,0000	0,00	0,000		
	RR-6	0,0000	1,0000	0,00	0,000		
IRC	RC-1	0,0098	0,9372	0,53	0,046	0,066	
	RC-2	0,0000	0,7535	1,00	0,042		
	RC-4	0,0000	1,0000	0,00	0,000		
	RC-5	0,0000	1,0000	0,00	0,000		
ICO	CO-3	0,0000	1,0000	0,92	0,053	0,109	
	CO-4	0,0000	1,0000	0,92	0,055		
IIN	IN-3	0,0028	0,6519	1,00	0,059	0,117	
	IN-4	0,0000	1,0000	1,00	0,058		
IDF	DF-3	0,0069	0,1820	0,05	0,003	0,064	
	DF-4	0,1862	0,5457	1,00	0,061		
IES	ES-3	0,0000	1,0000	0,98	0,051	0,103	
	ES-4	0,0000	1,0000	1,00	0,052		

Tabela 6: Resultados do Cálculo do IDRSI (Método Somatório) da Indústria Cimenteira B.

Sub-índice	Indicador	Benchmarks		Valor Normalizado	Indicador Normalizado x Peso	Total do Sub-índice	Valor Índice IDRSI						
		(Vmín)	(Vmáx)	(Vnorm)									
IMR	MR-1	0,0041	0,5011	0,00	0,000	0,000	0,461						
	MR-2	0,0000	0,0275	0,00	0,000								
	MR-4	0,0024	0,0735	0,00	0,000								
IRR	RR-1	0,0778	0,3801	1,00	0,038	0,073		0,461					
	RR-2	0,0136	0,1570	1,00	0,035								
	RR-4	0,0000	1,0000	0,00	0,000								
	RR-5	0,0000	1,0000	0,00	0,000								
	RR-6	0,0000	1,0000	0,00	0,000								
IRC	RC-1	0,0098	0,9372	0,47	0,022	0,064			0,461				
	RC-2	0,0000	0,7535	1,00	0,042								
	RC-4	0,0000	1,0000	0,00	0,000								
	RC-5	0,0000	1,0000	0,00	0,000								
ICO	CO-3	0,0000	1,0000	0,91	0,053	0,107				0,461			
	CO-4	0,0000	1,0000	0,90	0,054								
IIN	IN-3	0,0028	0,6519	1,00	0,059	0,117					0,461		
	IN-4	0,0000	1,0000	1,00	0,058								
IDF	DF-3	0,0069	0,1820	0,00	0,000	0,000						0,461	
	DF-4	0,1862	0,5457	0,00	0,000								
IES	ES-3	0,0000	1,0000	0,93	0,048	0,100							0,461
	ES-4	0,0000	1,0000	1,00	0,052								

CONCLUSÕES

Constatou-se que o Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais (IDRSI) é uma ferramenta que reflete numericamente qualidades e defeitos de um sistema gerencial de produção, permitindo a identificação pontual de problemas. Sua utilização em indústrias foi verificada com eficiência para o caso de indústrias brasileiras.

Os valores numéricos obtidos tanto para o produtório quanto para o somatório demonstram realmente a melhoria ou piora do manejo de resíduos industriais, ressaltando a aplicabilidade do Índice. O IDRSI constitui, por um lado, uma advertência aos gestores ambientais, pelo resultado obtido no Índice e, por outro, um guia para a melhoria da gestão, a ser definida a partir indicadores obtidos.

Além disso, verificou-se a fragilidade do método de agregação por produtorio quando há possibilidade de formação de indicadores nulos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado Minas Gerais - FAPEMIG por financiar a participação no Congresso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COELHO, H. M. G. Modelo de Avaliação e Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Indústrias. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFMG), Brasil. 300p., 2011a.
2. COELHO, H. M. G., LANGE, L. C., JESUS, L. F. L., SARTORI, M. R., 2011. Proposta de um Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais (IDRSI). Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 16, n.3, pp. 307-316, 2011b.
3. GLOBAL REPORTING INITIATIVE – GRI. Diretrizes para Relatório de Sustentabilidade. Versão 3.0 (Português). São Paulo. 47 p., 2006.
4. LINDSTONE, H. A., TUROFF, M. The Delphi Method: techniques and applications. E-Book. 2002.