

### **III-124 – APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS (IDRSI) EM INDÚSTRIAS DO MERCOSUL**

**Hosmanny Mauro Goulart Coelho<sup>(1)</sup>**

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).

**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).

**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).

**Matheus Rennó Sartori**

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

**Endereço<sup>(1)</sup>:** 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](mailto:hosmanny@hotmail.com)

#### **RESUMO**

A pesquisa envolveu a aplicação do Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais (IDRSI), composto por 7 sub-índices que abrangem 20 indicadores desenvolvidos, envolvendo os princípios de não geração, minimização, reaproveitamento, reciclagem, tratamento, estocagem e disposição final de resíduos a uma realidade pré-estabelecida. O marco referencial que orientou as avaliações do IDRSI foi obtido a partir da realização de pesquisas em relatórios ambientais e documentos auditáveis, bem como de visitas técnicas em indústrias do setor automobilístico, cimenteiro, energia, laticínios, siderúrgico e têxtil. O IDRSI desenvolvido foi simulado a partir de dados reais e teve sua aplicabilidade demonstrada na realidade brasileira. Dessa forma, pretende-se expandir a utilização do índice para o restante do Mercado Comum do Sul (Mercosul). De tal forma, pretende-se comprovar sua eficiência na avaliação do gerenciamento e auxílio à tomada de decisão de gestores de empresas da região. Essa análise foi feita por meio da comparação de resultados obtidos pela simulação de uma empresa brasileira e outra argentina, ambas do setor automobilístico. Os resultados comprovaram a eficiência do modelo e a compatibilidade das avaliações esperadas. Assim sendo, o IDRSI constitui-se em uma ferramenta de gestão aplicável à realidade do Mercosul.

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

#### **INTRODUÇÃO**

Há, atualmente, uma crescente preocupação relacionada ao gerenciamento dos resíduos sólidos industriais, uma vez que, todos os dias, milhões de toneladas destes são geradas. A destinação desses resíduos produz impactos diversos ao meio-ambiente. Assim, torna-se necessária a implantação de medidas que visem 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.

A busca por maior eficiência ambiental nas indústrias depende de um conhecimento prévio sobre os dados intrínsecos ao seu setor industrial. Assim, 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).

O marco referencial que orientou as avaliações do Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais foi obtido 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 DO TRABALHO

O presente trabalho tem por finalidade apresentar um exemplo de avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias do Mercosul utilizando o índice de destinação de resíduos industriais (IDRSI).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para exemplificar a sua aplicação, o índice foi utilizado para a avaliação de duas indústrias de países que compõem o Mercosul, especificamente do setor automotivo, sendo uma brasileira e outra argentina. 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 3.1 apresenta a descrição dos indicadores componentes do IDRSI.

**Tabela 3.1 - Indicadores componentes do IDRSI.**

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

A Tabela 3.2 apresenta os indicadores e os respectivos pesos utilizados nos cálculos do IDRSI.

**Tabela 3.2 - Pesos utilizados obtidos para os Indicadores do IDRSI.**

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

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 3.3.

**Tabela 3.3 – 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

## RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 4.1 apresenta os dados obtidos das empresas avaliadas, utilizados como parâmetros de entrada nos cálculos dos indicadores e do IDRSI.

**Tabela 4.1 - Dados de entrada utilizados no cálculo do IDRSI – Indústrias do Setor Automotivo.**

Setor Industrial: Siderúrgico	Brasileira		Argentina	
	Ano		Ano	
	2009	2010	2009	2010
Produção (t/ano):	80.884	93.486	65.458	93.374
Quantidade total de resíduo sólido gerada (t/ano):	16.457	16.840	17.568	23.318
Quantidade de resíduo sólido perigoso gerada (t/ano):	-	-	815	1.041
Quantidade de resíduo sólido não-perigoso gerada (t/ano):	-	-	16.753	22.277
Quantidade total de resíduo sólido reutilizada ou reaproveitada (t/ano):	-	-	-	-
Percentual de combustível não-renovável poupado devido à reutilização ou reaproveitamento de resíduo sólido (%):	-	-	-	-
Percentual de matéria-prima poupada devido à reutilização ou reaproveitamento de resíduo sólido (%):	-	-	-	-
Percentual de resíduo transferido à outra indústria para servir como matéria-prima ou combustível (%):	-	-	-	-
Quantidade de resíduo sólido reciclada (t/ano):	15.549	16.126	15.846	21.008
Percentual de combustível não-renovável poupado devido à reciclagem de resíduo sólido (%):	-	-	-	-
Percentual de matéria-prima poupada devido à reciclagem de resíduo sólido (%):	-	-	-	-
Quantidade de resíduo sólido co-processada (t/ano):	353	260	550	690
Quantidade de resíduo sólido perigoso co-processada (t/ano):	-	-	550	690
Quantidade de resíduo sólido incinerada (t/ano):	352	259	-	-
Quantidade de resíduo sólido perigoso incinerada (t/ano):	-	-	-	-
Quantidade de resíduo sólido aterrada (t/ano):	203	195	1	3
Quantidade de resíduo sólido perigoso aterrada (t/ano):	-	-	1	3
Quantidade de resíduo sólido estocada (t/ano):	-	-	-	-
Quantidade de resíduo sólido perigoso estocada (t/ano):	-	-	-	-

Analisando-se a Tabela 4.1 se pode constatar que nos anos de 2009 e 2010, a indústria automotiva brasileira reciclou percentuais de 94,5% e 95,8%, respectivamente, de seus resíduos gerados, enquanto que a indústria automotiva argentina reciclou percentuais de 90,2% e 90,1%, respectivamente.

As Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam os resultados obtidos para o cálculo do IDRSI pelo método somatório para as indústrias brasileira e argentina, respectivamente.

**Tabela 4.2 - Resultados do Cálculo do IDRSI (Método Somatório) da Indústria Automotiva Brasileira.**

Sub-índice	Indicador	Benchmarking		Valor Normalizado	Peso do Indicador	% Sub-índice	Indicador Normalizado x Peso	Total do Sub-índice	Valor Índice IDRSI
		(Vmín)	(Vmáx)	(Vnorm)					
IMR	MR-1			0,08	0,068	19,6%	0,006	0,134	0,482
	MR-2			1,00	0,066		0,066		
	MR-4			1,00	0,062		0,062		
IRR	RR-1			0,00	0,038	17,3%	0,000	0,000	
	RR-2			0,00	0,035		0,000		
	RR-4			0,00	0,033		0,000		
	RR-5			0,00	0,033		0,000		
	RR-6			0,00	0,034		0,000		
IRC	RC-1			0,89	0,046	16,9%	0,041	0,050	
	RC-2			0,22	0,042		0,009		
	RC-4			0,00	0,039		0,000		
	RC-5			0,00	0,042		0,000		
ICO	CO-3			0,13	0,058	11,8%	0,008	0,068	
	CO-4			1,00	0,060		0,060		
IIN	IN-3			0,13	0,059	11,7%	0,008	0,066	
	IN-4			1,00	0,058		0,058		
IDF	DF-3			-0,01	0,062	12,3%	-0,001	0,060	
	DF-4			1,00	0,061		0,061		
IES	ES-3			1,00	0,052	10,4%	0,052	0,104	
	ES-4			1,00	0,052		0,052		
				TOTAL	1,0	100%	0,482	0,482	

**Tabela 4.3 - Resultados do Cálculo do IDRSI (Método Somatório) da Indústria Automotiva Argentina.**

Sub-índice	Indicador	Benchmarking		Valor Normalizado	Peso do Indicador	% Sub-índice	Indicador Normalizado x Peso	Total do Sub-índice	Valor Índice IDRSI
		(Vmín)	(Vmáx)	(Vnorm)					
IMR	MR-1			0,04	0,068	19,6%	0,003	0,012	0,270
	MR-2			0,10	0,066		0,006		
	MR-4			0,03	0,062		0,002		
IRR	RR-1			0,00	0,038	17,3%	0,000	0,000	
	RR-2			0,00	0,035		0,000		
	RR-4			0,00	0,033		0,000		
	RR-5			0,00	0,033		0,000		
	RR-6			0,00	0,034		0,000		
IRC	RC-1			0,75	0,046	16,9%	0,034	0,034	
	RC-2			-0,00	0,042		-0,000		
	RC-4			0,00	0,039		0,000		
	RC-5			0,00	0,042		0,000		
ICO	CO-3			0,05	0,058	11,8%	0,003	0,003	
	CO-4			0,01	0,060		0,000		
IIN	IN-3			1,00	0,059	11,7%	0,059	0,117	
	IN-4			1,00	0,058		0,058		
IDF	DF-3			-0,00	0,062	12,3%	-0,000	0,000	
	DF-4			-0,00	0,061		-0,000		
IES	ES-3			1,00	0,052	10,4%	0,052	0,104	
	ES-4			1,00	0,052		0,052		
		TOTAL			1.0	100%	0,270	0,270	

Observando-se os dados de 2009 contidos na Tabela 4.1, percebe-se que a produção de automóveis na indústria brasileira foi 23,6% superior à argentina. No entanto, a diferença da geração de resíduos não foi tão significativa (6,8%). Ou seja, para cada veículo produzido na argentina, foram gerados 65 kg a mais de resíduos que no caso da produção brasileira. Constatou-se que o modo de destinação da maior parte dos resíduos é similar: cerca de 90% deles são reciclados, em ambas as indústrias. Já a destinação do restante varia bastante entre elas: na brasileira, ele é dividido entre tratamentos (co-processamento e incineração) e aterramento; na argentina, o co-processamento foi mais utilizado, principalmente para os resíduos perigosos, e uma quantidade muito pequena desses resíduos foi aterrada.

Além disso, os dados da Tabela 4.1 mostram que houve uma grande melhora no gerenciamento da produção da montadora brasileira. Para 15% de aumento de produção, a geração de resíduos aumentou apenas 2%. No caso argentino, ocorreu melhoria, mas menos significativa que a da brasileira. A produção aumentou muito (43%), mas os resíduos aumentaram em 32%.

As Tabelas 4.2 e 4.3 mostram como o cálculo do IDRSI pelo método do somatório refletiu a melhoria do gerenciamento da produção e dos resíduos sólidos industriais no caso brasileiro. De fato, enquanto a indústria argentina obteve um IDRSI igual a 0,270 (na faixa de classificação muito ruim), a brasileira alcançou 0,482 (faixa de classificação ruim).

## **CONCLUSÕES**

Verificou-se que o Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais (IDRSI) constitui 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 de países do Mercosul.

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.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica cedidas.

## **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.