

# Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: estado da arte e análise crítica das principais tecnologias

Dry biomethanation of municipal solid waste: state-of-the-art and critical analysis of major technologies

---

## Felipe Correia de Souza Pereira Gomes

Engenheiro Ambiental, Mestre em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental. Diretor de Operações da Methanum Resíduo e Energia – Belo Horizonte (MG), Brasil.

## Sérgio Francisco de Aquino

Bacharel e licenciado em Química, Mestre em Hidráulica e Saneamento e Ph.D. em Engenharia Química. Professor Adjunto IV do Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) – Ouro Preto (MG), Brasil.

## Luis Felipe de Dornfeld Braga Colturato

Engenheiro Ambiental, Mestre em Tecnologia Ambiental. Diretor Executivo da Methanum Resíduo e Energia – Belo Horizonte (MG), Brasil.

---

## Resumo

A utilização da tecnologia de digestão anaeróbica (biometanização) para a gestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é uma realidade que vem se disseminando mundialmente. Os sistemas via seca vem se destacando pela maior robustez do sistema biológico e pela minimização da geração de efluentes líquidos. Para avaliar o desempenho de sistemas de digestão via seca, foram realizadas visitas técnicas a plantas das principais tecnologias — Valorga, Laran, Kompogas e Dranco — e, a partir de constatações *in loco* e de dados levantados junto aos fabricantes, elaborou-se uma metodologia para avaliação das mesmas, com 35 indicadores, divididos em 4 grupos (Histórico; Aspectos Operacionais; Desempenho de Projeto; Desempenho Real). Na soma ponderada, as tecnologias que obtiveram os dois melhores desempenhos foram aquelas denominadas de 4 e 2, respectivamente, que empregam digestor retangular horizontal com agitação mecânica por pás com eixo no sentido transversal ao fluxo do material em digestão.

**Palavras-chave:** biometanização; resíduos sólidos urbanos; Laran; Valorga; Kompogas; Dranco; comparação de desempenho; avaliação tecnologias.

## Abstract

The employment of anaerobic digestion technology (biomethanation) for the management of the organic fraction of municipal solid waste is a reality that has been spreading out all around the world. The dry biomethanation, in particular, has been highlighted due to its biological system higher robustness and to the low generation of liquid effluents. In order to assess the dry biomethanation technologies performance, technical visits were carried out at different plants representing the major technologies available — Valorga, Laran, Kompogas, and Dranco — and, based on *in situ* observations as well as on projected performance data, it was developed an assessment methodology, composed by 35 indexes, divided into 4 groups: Historic; Operational Aspects; Projected Performance; Real Performance. After all, the best performance was presented by technologies referred to as 4 and 2 that employs rectangular horizontal digesters stirred by impellers with axis across the flux of the digesting material.

**Keywords:** biomethanation; municipal solid waste; Laran; Valorga; Kompogas; Dranco; comparison of performance; technology assessment.

---

**Endereço para correspondência:** Felipe Correia de Souza Pereira Gomes – Rua Dr. Juvenal dos Santos, 150, apto. 801 – Luxemburgo – 30380-530 – Belo Horizonte (MG), Brasil – E-mail: felipe@methanum.com

**Fonte de financiamento:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM).

**Recebido:** 08/03/12 – **Aceito:** 22/08/12 – **Reg. ABES:** 221

## Introdução

A busca por alternativas energéticas que minimizem a dependência da sociedade moderna em combustíveis fósseis tem sido objeto de inúmeras pesquisas em nível mundial. Conciliar a gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) com tecnologias que recuperem a energia presente nos resíduos e reduzam a emissão dos gases causadores do efeito estufa (GEE) é uma das vertentes pesquisadas. A prática comum na gestão dos RSU nos países em desenvolvimento é a utilização dos vazadouros a céu aberto (lixões), que é inadequada e em muito contribui com as emissões de GEE. Para erradicar a utilização de lixões, muitos municípios optam por aterros sanitários que, embora já não sejam considerados ambientalmente corretos em muitos países desenvolvidos, no Brasil são opções tecnológicas consideradas adequadas. O principal aspecto negativo é que, mesmo com os sistemas de coleta e queima do biogás gerado, uma parcela significativa deste gás não é captada pelo sistema, sendo então emitida para a atmosfera.

Considerando este aspecto, foi aprovada a Diretiva Europeia 1999/31/CE (UNIÃO EUROPEIA, 1999) que estabelece restrições na disposição de materiais orgânicos em aterros sanitários, obrigando os países membros da comunidade europeia a buscarem formas eficazes para o tratamento da fração orgânica dos RSU. Na mesma linha, a Índia aprovou a legislação *The Indian Municipal Solid Waste (Management and Handling) Rules 2000* (GOVERNMENT OF INDIA, 2000), a qual estabelece a obrigatoriedade da segregação dos resíduos na fonte de geração e proíbe a disposição em aterros sanitários de resíduos orgânicos, exigindo que a fração orgânica receba algum tipo de tratamento biológico adequado (VOEGELI e ZURBRÜGG, 2008).

Com este enfoque, diversas tecnologias têm sido pesquisadas e desenvolvidas e, nos últimos 20 anos, a digestão anaeróbia ou biometanização dos RSU vem apresentando uma grande expansão. Em 1990, a Europa dispunha de apenas 3 plantas industriais para a biometanização de resíduos orgânicos, provendo uma capacidade instalada de 87.000 t.ano<sup>-1</sup>. Em 2009 existiam 171 plantas, tendo sido estimado para o final de 2010, uma capacidade total instalada de 5.204.000 t.ano<sup>-1</sup>, o que representaria um acréscimo de quase 6.000% em um período de 20 anos (DE BAERE e MATTHEEUWS, 2008).

Em Minas Gerais, a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) tem trabalhado para modificar a realidade atual na gestão dos RSU. O projeto Minas sem Lixões busca eliminar os sistemas inadequados de disposição de resíduos em Minas Gerais. Em 2003, 19,3% da população urbana era atendida por sistemas adequados de disposição dos RSU, sendo que em 2009 a população urbana atendida chegou a 50,2%. Entretanto, a maior parte dos sistemas implantados foram aterros sanitários, sendo que apenas 3,1% da população urbana era atendida por usinas de

trialogem e compostagem. Buscando adotar um novo conceito na gestão dos RSU, a FEAM está desenvolvendo o projeto Resíduo é Energia, que busca aliar a adoção de práticas ambientalmente adequadas na gestão dos RSU e a recuperação do potencial energético dos resíduos, fomentando a implantação de sistemas alternativos de gerenciamento dos RSU. Dentre as tecnologias avaliadas, frente aos benefícios associados, a biometanização vem ganhando destaque.

A tecnologia de biometanização dos RSU geralmente é empregada em Plantas de Tratamento Mecânico-Biológico, ou Plantas TMB. Nestas unidades, o RSU é submetido a processos manuais e mecanizados de triagem para recuperação de materiais recicláveis e tratamento da fração orgânica dos resíduos. A fração orgânica é direcionada a processos biológicos de tratamento para estabilização, geralmente via biometanização ou a compostagem acelerada (ARCHER *et al.*, 2005).

Um dos principais aspectos que diferem as tecnologias de biometanização de RSU é o teor de sólidos totais (ST) do material que será introduzido nos digestores. Isto faz com que os sistemas via seca gerem uma menor quantidade de efluentes líquidos, acarretando em economias de investimento e operação quanto aos sistemas de pré-acondicionamento e tratamento de efluentes. Adicionalmente, observa-se ainda que o meio biológico dos sistemas via seca é mais robusto, suportando melhor as alterações no substrato e a aplicação de cargas orgânicas elevadas.

De forma a auxiliar a FEAM na definição da tecnologia de biometanização via seca mais adequada, o presente estudo avaliou a eficiência das principais tecnologias de biometanização via seca de RSU hoje disponíveis em escala comercial: Laran, Valorga, Dranco e Kompogas. Elaborou-se uma metodologia, composta por 32 indicadores, que buscou avaliar a eficiência das referidas tecnologias. Com base nos dados levantados e na metodologia desenvolvida foi possível realizar uma análise crítica dessas tecnologias, definindo aquelas mais eficientes e indicadas para potencial implantação no estado de Minas Gerais.

## Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido em cinco etapas, sendo elas: levantamento do “Estado da Arte” da biometanização seca de RSU; elaboração do questionário e visitas técnicas a plantas de biometanização; compilação das informações; definição de critérios para comparação; e análise crítica das tecnologias.

Para a definição do “Estado da Arte” realizou-se uma ampla revisão bibliográfica sobre o tema, o que possibilitou a definição dos principais aspectos a serem avaliados nas tecnologias. Com base nas informações levantadas, elaborou-se um questionário para aplicação durante as visitas técnicas que seriam realizadas, de forma a se obter informações sobre a realidade operacional

das unidades e compreender os principais problemas operacionais enfrentados e as soluções adotadas.

Foram visitadas quatro plantas de biometanização de RSU na Espanha entre os dias 4 e 10 de dezembro de 2008. No dia 04/12/2008 visitou-se o *Ecoparc2*, localizado em Montcada i Reixac, que recebe parte dos RSU da região metropolitana de Barcelona e que utiliza a tecnologia Valorga. No dia 05/12/2008 visitou-se o *Ecoparque de La Rioja*, localizado em Logroño e que utiliza a tecnologia Kompogas. No dia 09/12/2008 visitou-se a *Planta de Tratamiento por Biometanización y Compostaje de los Residuos Urbanos del Territorio Histórico de Álava – Biocompost*, localizada em Vitoria-Gasteiz e que utiliza a tecnologia Dranco. No dia 10/12/2008 foi visitada a *Planta de Recuperación y Compostaje de Valladolid*, localizada em Valladolid e que utiliza a tecnologia Laran.

Posteriormente, as informações levantadas durante as visitas foram compiladas em tabelas e analisadas. Complementarmente, realizou-se uma ampla pesquisa nas páginas *web* das plantas visitadas para obtenção de dados de projeto; e nas páginas *web* dos órgãos ambientais e de energia dos governos locais, para levantamento de informações e sobreposição dos dados de projeto sobre o desempenho real das unidades.

Com base nas informações obtidas e nas discussões realizadas durante as visitas, foram definidos 35 indicadores para avaliação das tecnologias, os quais foram agrupados em 4 grupos. Os resultados de cada um dos indicadores foram normalizados, em uma escala de zero a um, o que possibilitou o somatório dos mesmos. Com base no somatório dos indicadores, atribuiu-se a nota de cada grupo.

O grupo Histórico das Tecnologias, composto por nove indicadores (A1 a A9), compara a experiência acumulada das tecnologias. O indicador A1 compara a experiência em operar os digestores em diferentes faixas de temperatura. O indicador A2 compara a capacidade instalada total. O indicador A3 compara a capacidade instalada média das plantas. O indicador A4 compara a capacidade instalada máxima. O indicador A5 compara o tempo de experiência em pesquisa, construção e operação de unidades. O indicador A6 verifica quais das tecnologias possui representante técnico/comercial no Brasil. O indicador A7 compara o número de unidades implantadas ou em construção. O indicador A8 compara a quantidade de tipos de resíduos, nos quais as tecnologias possuem experiência de tratamento. O indicador A9 compara a quantidade de usos do biogás, nos quais as tecnologias possuem experiência.

Com exceção dos indicadores A1 e A6, o cálculo das notas foi realizado após a normalização dos resultados, em função do melhor resultado em cada indicador, ao qual se atribui a nota 1. As demais notas foram calculadas, de forma percentual, com relação ao melhor resultado. Para o indicador A1 atribuiu-se

nota 0,5 para as tecnologias que possuem experiência em operar digestores em apenas uma faixa de temperatura e nota máxima (1,0) para as tecnologias que possuem experiência em duas faixas de temperatura. Para o indicador A6 atribuiu-se nota 1,0 para as tecnologias que possuem representantes no Brasil e nota 0 (zero) para as que não possuem.

O grupo Aspectos Operacionais é composto por seis indicadores (B1 a B6), os quais avaliam o funcionamento dos principais sistemas que compõem as unidades biometanização. O indicador B1 avalia o funcionamento dos sistemas de introdução. O indicador B2 verifica a ocorrência de problemas no sistema de agitação e mistura do material em digestão. O indicador B3 avalia o funcionamento do sistema de extração. O indicador B4 avalia o sistema de remoção de gás sulfídrico do biogás. O indicador B5 avalia a existência de problemas operacionais relacionados ao acúmulo de inertes no interior do digestor. O indicador B6 verifica a destinação dada ao composto produzido.

Os indicadores do grupo Aspectos Operacionais são mais subjetivos que os demais grupos. De forma a reduzir a subjetividade na definição das notas, adotou-se os seguintes critérios:

- caso o sistema esteja funcionando de forma adequada e não tenham sido relatados ou observados problemas operacionais, atribuiu-se nota 1;
- caso o sistema esteja funcionando de forma satisfatória, entretanto foram relatados ou observados problemas operacionais, atribuiu-se nota 0,5;
- caso o sistema esteja inoperante ou funcionando de forma precária, atribuiu-se nota 0.

O grupo Dados de Projeto é composto por seis indicadores (C1 a C6), os quais comparam as estimativas de desempenho de cada uma das unidades visitadas. Os indicadores foram calculados com base nos dados de projeto das unidades, realizando-se uma normalização dos resultados, ou seja, o melhor desempenho recebeu nota 1,0 e as demais notas foram calculadas, de forma percentual, em relação a esta. Os indicadores C1 a C4 avaliam a eficiência dos digestores quanto a, respectivamente, carga orgânica volumétrica aplicada; produtividade de biogás em relação ao volume total dos digestores; geração de energia elétrica em relação ao volume total dos digestores; produtividade de biogás em relação à quantidade de resíduos orgânicos alimentada nos digestores. O indicador C5 compara a relação entre o custo de implantação e a capacidade instalada de processamento de RSU; ao passo que o indicador C6 avalia a eficiência na geração de energia elétrica quanto à quantidade de resíduos orgânicos introduzidos nos digestores.

O grupo Dados Reais é composto por 11 indicadores (D1 a D11), os quais comparam o desempenho real das unidades visitadas e avaliam o grau de atendimento às expectativas de

desempenho do projeto. Da mesma forma que o grupo C, os indicadores foram calculados com base nos dados reais de desempenho das unidades, sendo o resultado normalizado em função do melhor desempenho, que recebeu nota 1,0. O indicador D1 compara o percentual de utilização da capacidade instalada das plantas. O indicador D2 compara a geração de resíduos de planta das unidades. O indicador D3 avalia a eficiência dos digestores em relação à carga orgânica volumétrica aplicada, comparando a quantidade de resíduos orgânicos introduzidos nos digestores e o volume total dos mesmos. O indicador D4 avalia a eficiência da unidade de biometanização quanto à produtividade de biogás, comparando a relação entre a produtividade de biogás e a quantidade de resíduos orgânicos processados. O indicador D5 também avalia a eficiência dos digestores quanto à produtividade de biogás, comparando a relação entre a produtividade de biogás e o volume total dos digestores. O indicador D6 avalia a eficiência dos digestores quanto à geração de energia elétrica, comparando a relação entre a geração de energia elétrica e o volume total dos digestores. O indicador D7 avalia a eficiência na geração de energia elétrica, quanto à quantidade de resíduos orgânicos introduzidos nos digestores. O indicador D9 compara a relação entre o custo de implantação e a quantidade média de RSU recebidos. O indicador D10 compara o atendimento às expectativas de produtividade de biogás. O indicador D11 compara o atendimento às expectativas de geração de energia elétrica.

Para a obtenção da nota final de cada tecnologia, somou-se, de forma ponderada, a nota obtida em cada grupo. Optou-se por realizar a soma ponderada dos grupos para valorizar aqueles de maior relevância na opinião dos autores. Os pesos de cada um dos grupos foram definidos conforme apresenta-se na Tabela 1.

## Discussão

De forma a preservar as empresas e evitar que sejam estabelecidos juízos de valores inadequados para as tecnologias avaliadas, os nomes das empresas serão omitidos na avaliação dos resultados.

O resumo dos dados obtidos para cada uma das plantas visitadas pode ser visto na Tabela 2, sendo ilustrados tanto os dados de projeto quanto os dados de desempenho real das unidades. Na Tabela 3, apresentam-se os resultados para os indicadores

do grupo Histórico das Tecnologias. A Tecnologia 2 (digestor retangular horizontal com agitação mecânica por pás com eixo no sentido transversal ao fluxo do material em digestão) foi a que apresentou o melhor desempenho no grupo, obtendo uma nota total de 7,22 pontos. O bom desempenho desta tecnologia foi resultado, principalmente, da possibilidade de construção de unidades de grande porte, com elevada capacidade de tratamento. Esse é um aspecto relevante, pois se observa uma redução nos custos de implantação e operação com o aumento da escala das unidades. A Tecnologia 2 apresentou um resultado 18% melhor do que a Tecnologia 3 (digestor retangular horizontal, de fundo abaulado, com agitação mecânica por pás com eixo no sentido do fluxo do material em digestão), 24% superior à Tecnologia 4 (digestor retangular horizontal com agitação mecânica por pás com eixo no sentido transversal ao fluxo do material em digestão) e 30% superior à Tecnologia 1 (digestor cilíndrico vertical de fundo cônico com agitação via recirculação do material em digestão).

Na Tabela 4, apresentam-se os resultados para os indicadores do grupo Aspectos Operacionais. Neste grupo as unidades com a Tecnologia 4 e a com a Tecnologia 1 foram as que apresentaram o melhor desempenho, atingindo 4,00 pontos, seguidos pela planta da Tecnologia 2 com 3,00 e pela unidade da Tecnologia 3 com 2,50 pontos, que obteve essa nota em função dos recorrentes problemas observados no sistema de extração da Tecnologia 3. O principal aspecto positivo que merece destaque foi a utilização de um tanque de vácuo no sistema de extração da Tecnologia 4, que não é utilizado frequentemente, mas em caso de entupimentos no sistema, é altamente eficiente evitando a desobstrução manual, como ocorre na Tecnologia 3.

Os resultados para os indicadores do grupo Dados de Projeto podem ser vistos na Tabela 5. Neste grupo a planta com a Tecnologia 1 foi a de melhor desempenho, atingindo 5,07 pontos, seguida pela unidade com a Tecnologia 3, 4,61 pontos, a com Tecnologia 4, 3,81 pontos e, em último lugar, a com Tecnologia 2, com 3,72 pontos. O bom desempenho da unidade com Tecnologia 1 foi ocasionado, principalmente, pelo desempenho estimado para os digestores quanto à capacidade de carga, e elevada produtividade de energia para os resíduos introduzidos no digestor.

**Tabela 1** – Critérios utilizados na definição dos pesos de cada um dos grupos de indicadores.

Critério	Grupo de Indicadores			
	Histórico das tecnologias	Aspectos operacionais	Dados de projeto	Dados reais
Baixa subjetividade	0,5	0,0	1,0	1
Confiabilidade da informação	0,5	0,5	0,5	1
Relevância operacional	0,0	2,0	0,0	2
Peso	1,0	2,5	1,5	4

**Tabela 2** – Resumo dos dados obtidos para cada uma das plantas visitadas.

Nome da unidade		Ecoparc 2 <sup>2</sup>	Biocompost <sup>3</sup>	CTR Valladolid <sup>4</sup>	Ecoparque de La Rioja <sup>5</sup>
Tecnologia de biometanização		Valorga	Dranco	Laran	Kompogas
Custo de implantação	€	51.000.000,00	23.289.292,75	21.874.369,00	30.000.000,00
Capacidade instalada da planta	t.ano <sup>-1</sup>	240.000	120.750	200.000	148.000
Capacidade instalada de biometanização	t.ano <sup>-1</sup>	120.000	20.000	15.000	75.000
Quantidade média real de RSU recebidos na unidade	t.ano <sup>-1</sup>	217.286	58.230	196.858	84.467
Quantidade média estimada de material enviado a biometanização <sup>1</sup>	t.ano <sup>-1</sup>	108.643	9.645	14.764	42.804
Teor de matéria seca do resíduo introduzido nos biodigestores	% de sólidos totais	32±2%	Informação não disponível	27 a 30%	22%
Resíduos processados	-	FORM, resíduos orgânicos, resíduos de poda, RSU não segregado, recicláveis	RSU não segregado, FORM, resíduos orgânicos, resíduos de poda e recicláveis	RSU não segregado, recicláveis, lodo de ETE, resíduos de poda, FORM	RSU não segregado, recicláveis, resíduos de grandes volumes, resíduos de poda
Quantidade de digestores	unidades	3	1	1	6
Volume do digestor	m <sup>3</sup>	4.500	1.770	1.986	1.150
Temperatura de operação	°C	37	55	35	55
Produtividade de biogás esperada	m <sup>3</sup> /ano	13.700.000	2.760.000	1.700.000	14.000.000
Produtividade média real de biogás	m <sup>3</sup> /ano	10.547.500	499.862	2.021.760	4.905.811
Geração de energia elétrica esperada	MWh/ano	26.400	6.000	3.000	12.750
Geração média real de energia elétrica	MWh/ano	14.850	850 <sup>6</sup>	1.750	7.300
Geração real de resíduos de planta	%	59,7%	62,8%	50% <sup>7</sup>	61,0%
Utilização da capacidade instalada	%	90,5%	48,2%	98,4%	57,1%

<sup>1</sup>Calculado pelo produto entre a quantidade média de resíduos processados e a porcentagem da capacidade instalada de biometanização em função da capacidade instalada total; <sup>2</sup>Dados dos anos de 2006 a 2009, exceto para biogás no qual utilizaram-se dados dos anos de 2008 e 2009, adaptado de *Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz* (2009) <sup>3</sup>Dados do ano de 2008, adaptado de *L'Entitat del Medi Ambient de L'Àrea Metropolitana de Barcelona* (2007; 2008; 2009; 2010); <sup>4</sup>Dados dos anos de 2006 e 2008, exceto para energia na qual utilizou-se dados do ano de 2006, adaptado de [http://www.larioja.org/upload/documents/472488\\_Datos\\_Web\\_Ecoparque.pdf](http://www.larioja.org/upload/documents/472488_Datos_Web_Ecoparque.pdf); <sup>5</sup>Dados dos anos de 2005 a 2009, exceto para biogás e energia nos quais utilizou-se dados dos anos de 2007 a 2009, adaptado de: Junta de Castilla y León (2010) e CTR Valladolid <sup>6</sup>Estimado considerado 1,7 kWh de energia elétrica para cada 1 m<sup>3</sup> de biogás; <sup>7</sup>Devido a indisponibilidade de dados, considerou-se o percentual informado durante a visita técnica.

RSU: resíduos sólidos urbanos; FORM: fração orgânica dos resíduos municipais, correspondendo aos resíduos orgânicos triados no ponto de geração; ETE: estação de tratamento de esgotos.

Na Tabela 6, apresentam-se os resultados para os indicadores do grupo Dados Reais. Neste grupo a planta de metanização que utiliza a Tecnologia 4 foi a unidade que apresentou o melhor desempenho, atingindo 9,93 pontos, seguida pela unidade com a Tecnologia 2, com 8,95 pontos. Em 7 dos 11 indicadores, a planta com a Tecnologia 4 apresentou o melhor resultado, superando as demais tecnologias em indicadores de produtividade de biogás e custo de implantação. O grande destaque da unidade com a Tecnologia 4 foi seu bom desempenho nos indicadores que avaliam o atendimento as expectativas de projeto, pois a unidade opera a 98,4% da capacidade instalada, gera 58,3% da energia elétrica esperada e produz 18,9% a mais de biogás do que o estimado em projeto. Cabe destacar que a produtividade estimada de biogás da planta com a Tecnologia 4 era, relativamente, inferior às demais, fato este que contribuiu para o bom desempenho da planta, no indicador D10.

Com base nos indicadores estabelecidos e nos critérios de ponderação definidos, foi realizado o somatório das notas para a definição das tecnologias de melhor desempenho. Na Tabela 7 verifica-se o desempenho das plantas avaliadas, quanto ao somatório simples dos resultados de cada grupo de indicadores.

Como pode ser verificado, as unidades com as Tecnologias 2 e 4 foram as plantas que apresentaram o melhor desempenho, obtendo 23,00 e 22,72 pontos, respectivamente. A planta com Tecnologia 2 apresentou o melhor desempenho do grupo Histórico das Tecnologias e ainda apresentou um bom desempenho nos grupos Aspectos Operacionais e Dados Reais.

A Tecnologia 4 obteve a segunda melhor pontuação e o melhor resultado nos grupos Aspectos Operacionais e Dados Reais. A Tecnologia 2, que obteve o terceiro melhor desempenho global, apresentou bom desempenho nos grupos Histórico das Tecnologias, Dados de Projeto e Dados Reais. A Tecnologia 1 foi

**Tabela 3** – Indicadores do Grupo Histórico das Tecnologias.

Indicadores			Tecnologia			
			Tecnologia 1	Tecnologia 2	Tecnologia 3	Tecnologia 4
A1	Faixa de operação	Nota	0,50	1,00	0,50	1,00
		Obs.:	Termofílico	Mesofílico e termofílico	Termofílico	Mesofílico e termofílico
A2	Capacidade instalada total	Nota	0,36	1,00	0,36	0,27
		Obs.:	1.231.000 t.ano <sup>-1</sup>	3.446.596 t.ano <sup>-1</sup>	1.233.250 t.ano <sup>-1</sup>	936.460 t.ano <sup>-1</sup>
A3	Capacidade instalada média das plantas	Nota	0,42	1,00	0,22	0,38
		Obs.:	53.522 t.ano <sup>-1</sup>	127.652 t.ano <sup>-1</sup>	28.680 t.ano <sup>-1</sup>	49.132 t.ano <sup>-1</sup>
A4	Planta de maior capacidade instalada	Nota	0,36	1,00	0,55	0,40
		Obs.:	180.000 t.ano <sup>-1</sup>	497.600 t.ano <sup>-1</sup>	274.000 t.ano <sup>-1</sup>	200.000 t.ano <sup>-1</sup>
A5	Anos de experiência	Nota	0,93	1,00	0,68	0,57
		Obs.:	26 anos, primeira planta construída em 1984	28 anos, primeira planta construída em 1982	19 anos, primeira planta construída em 1991	16 anos, primeira planta construída em 1994
A6	Representante no Brasil	Nota	0,00	0,00	1,00	0,00
		Obs.:	Não	Não	Sim, a Kuttner do Brasil	Não
A7	Quantidade de unidades implantadas ou em implantação	Nota	0,70	0,72	1,00	0,49
		Obs.:	30 unidades	31 unidades	43 unidades	21 unidades
A8	Tipos de resíduos tratados	Nota	1,00	0,86	0,71	0,86
		Obs.:	Sete tipos — plantações energéticas, lodo de ETE, esterco, resíduo industrial orgânico, FORM, MOR, poda verde.	Seis tipos — esterco, resíduo agrícola, resíduo industrial orgânico, FORM, MOR, poda verde.	Cinco tipos — poda verde, resíduo industrial orgânico, FORM, MOR, poda verde.	Seis tipos — lodo de ETE, resíduo agrícola, resíduo industrial orgânico, FORM, MOR, poda verde.
A9	Experiência em utilizações de biogás	Nota	0,50	0,75	1,00	1,00
		Obs.:	Calor e eletricidade	Calor, eletricidade e lançamento na rede de gás natural	Calor, eletricidade, GMV e lançamento na rede de gás natural	Calor, eletricidade, GMV e lançamento na rede de gás natural
Somatório das notas			4,76	7,33	6,02	4,98

MOR: matéria orgânica residual, representando a fração orgânica obtida com a triagem do resíduo bruto realizada na planta de pré-tratamento; GMV: gás metano veicular; FORM: fração orgânica dos resíduos municipais, correspondendo aos resíduos orgânicos triados no ponto de geração; ETE: estação de tratamento de esgotos.

a de pior desempenho, entretanto, juntamente com a Tecnologia 4, foi a que apresentou o melhor desempenho do grupo Aspectos Operacionais.

Entretanto, entende-se que a soma simples dos grupos não é forma mais adequada de avaliar os resultados, pois, pondera, de forma igual, todos os grupos. Com base na ponderação definida no item Material e Métodos, apresenta-se na Tabela 8 a soma ponderada. Nos resultados da soma ponderada, observa-se uma alternância nos resultados, sendo que a Tecnologia 4 passa a ocupar o primeiro lugar e a Tecnologia 2, o segundo. Esse novo resultado é mais confiável uma vez que a Tecnologia 4 recebeu pontuações superiores a Tecnologia 2 nos dois grupos de indicadores considerados mais relevantes, e que refletem a realidade operacional das unidades, quais sejam os quesitos Aspectos Operacionais e Dados Reais.

## Conclusões

O presente trabalho desenvolveu uma metodologia para avaliar, dos pontos de vista de funcionalidade e eficiência, os processos

disponíveis de biometanização de RSU. A metodologia, composta por 32 indicadores foi aplicada nas 4 tecnologias líderes de mercado no fornecimento de digestores via seca. O objetivo dessa análise foi criar subsídios que pudessem auxiliar na tomada de decisão quanto à tecnologia mais adequada para ser implantada no estado de Minas Gerais.

A Tecnologia 4 foi a que apresentou o melhor desempenho global, obtendo, no somatório ponderado, uma pontuação 7,5% superior à segunda colocada (Tecnologia 2). Com o melhor desempenho nos grupos Dados Reais e Aspectos Operacionais, a Tecnologia 4 demonstrou possuir uma elevada eficiência quanto à produtividade de biogás e geração de energia, atendendo de forma satisfatória as expectativas de projeto, com destaque para o elevado grau de utilização da capacidade instalada. Um aspecto que mereceu destaque foi o eficiente sistema de extração da Tecnologia 4, composto por um tanque e uma bomba de vácuo. Este sistema promove, de forma eficiente, a remoção do material digerido do interior do digestor.

Tabela 4 – Indicadores do Grupo Aspectos Operacionais.

Indicadores		Planta com a Tecnologia 1	Planta com a Tecnologia 2	Planta com a Tecnologia 3	Planta com a Tecnologia 4
	Nota	0,5	0,5	0,5	0,5
B1	Sistema de introdução	Obs.: Durante a visita estavam sendo realizados reparos para desobstrução do sistema de mistura do material que será introduzido no digestor. Segundo o técnico responsável, esse é um problema frequente.	Foram relatados problemas relativos à acumulação de plástico nos sistemas de homogeneização.	Foram relatados problemas de entupimento das tubulações de alimentação devido à elevada concentração de vidro no material que é introduzido no digestor.	Foram relatados problemas devido à obstrução do sistema, devido ao acúmulo de sacos plásticos nas rosca de introdução.
	Nota	0,5	0,5	0,5	0,5
B2	Agitação e mistura do material em digestão	Obs.: Foram relatados problemas relativos à formação de caminhos preferenciais ou zonas mortas.	Foram relatados problemas referentes à formação de zonas mortas, devido ao acúmulo de material no interior do digestor.	Foram relatados problemas relativos à formação de caminhos preferenciais e zonas mortas.	O digestor possui um sistema de piso móvel para auxiliar no fluxo do material em digestão, entretanto, o mesmo não funcionou de forma adequada e está desativado. Foram relatados problemas de formação de zonas mortas nas laterais do digestor.
	Nota	0,5	0,5	0	1
B3	Sistema de extração	Obs.: O processo de alimentação/extração do digestor não é realizado aos domingos. O material em digestão sedimenta na base do digestor e obstrui a tubulação de extração, comprometendo o funcionamento do sistema.	Foram relatadas ocorrências de rompimento dos anéis de vedação da bomba de extração. Durante esses eventos, ocorreu o vazamento de uma grande quantidade de lodo no galpão do sistema de extração.	Foram relatados problemas recorrentes de entupimento das tubulações de extração em função a elevada concentração de vidro no material em digestão. O sistema funciona por gravidade e o processo de desentupimento é realizado de forma manual e arcaica.	Não foram relatados ou verificados problemas. O sistema de extração possui uma bomba e um tanque de vácuo. Caso ocorra alguma obstrução do sistema, eleva-se a pressão de vácuo, o que promove o esvaziamento da tubulação.
	Nota	1	1	0,5	1
B4	Remoção do gás sulfídrico no biogás	Obs.: Remoção por via biológica (biofiltros), com elevada eficiência até a concentração de 2.000 ppmV. Não foram relatados ou verificados problemas. Parte da água proveniente do processo de desaguamento é direcionada para a umidificação do sistema.	Remoção por via biológica (biofiltros), com elevada eficiência até a concentração de 2.000 ppmV. Não foram relatados ou verificados problemas. Parte da água proveniente do processo de desaguamento é direcionada para a umidificação do sistema.	Para evitar a formação do gás sulfídrico, adiciona-se cloreto férrico no material que será introduzido no digestor. Segundo informado na visita, a concentração de gás sulfídrico no biogás é tão elevada que corrói os EPI de alguns funcionários.	Remoção por via biológica (biofiltros), com elevada eficiência até a concentração de 2.000 ppmV. Não foram relatados ou verificados problemas. Parte da água proveniente do processo de desaguamento é direcionada para a umidificação do sistema.
	Nota	0,5	0	0	0,5
B5	Problemas devido ao acúmulo de materiais impróprios no interior do digestor	Obs.: Foram relatados problemas recorrentes de acumulação de inertes no interior do digestor.	Devido ao acúmulo de inertes no interior dos digestores, foi necessário o completo esvaziamento dos digestores para remoção desse material.	Foram relatados problemas recorrentes de acumulação de inertes no interior do digestor, principalmente devido à obstrução do sistema de extração pela grande concentração de vidro.	Foram relatados problemas recorrentes de acumulação de inertes no interior do digestor.
	Nota	1	0,5	1	0,5
B6	Qualidade do composto	Obs.: A maior parte do composto produzido é comercializada.	A maior parte do composto produzido é direcionada ao aterro sanitário.	A maior parte do composto produzido é comercializada.	A maior parte do composto produzido é direcionada ao aterro sanitário.
Somatório das notas		4	3	2,5	4

EPI: equipamentos de proteção individual.

**Tabela 5** – Indicadores do Grupo Dados de Projeto.

Indicadores			Planta com a Tecnologia 1	Planta com a Tecnologia 2	Planta com a Tecnologia 3	Planta com a Tecnologia 4
		Nota	1,00	0,79	0,96	0,67
C1	Capacidade instalada de biometanização pelo volume total dos digestores	Obs.:	11,3 t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor por ano por m <sup>3</sup> de digestor	8,9 t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor por ano por m <sup>3</sup> de digestor	10,9 t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor por ano por m <sup>3</sup> de digestor	7,5 t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor por ano por m <sup>3</sup> de digestor
C2	Produtividade diária de biogás pelo volume total dos digestores	Nota	0,77	0,50	1,00	0,42
		Obs.:	4,3 m <sup>3</sup> de biogás por dia por m <sup>3</sup> de digestor	2,8 m <sup>3</sup> de biogás por dia por m <sup>3</sup> de digestor	5,6 m <sup>3</sup> de biogás por dia por m <sup>3</sup> de digestor	2,3 m <sup>3</sup> de biogás por dia por m <sup>3</sup> de digestor
C3	Geração anual de energia elétrica pelo volume total dos digestores	Nota	1,00	0,58	0,54	0,45
		Obs.:	3,4 MWh.ano <sup>-1</sup> por m <sup>3</sup> de digestor	2,0 MWh.ano <sup>-1</sup> por m <sup>3</sup> de digestor	1,8 MWh.ano <sup>-1</sup> por m <sup>3</sup> de digestor	1,5 MWh.ano <sup>-1</sup> por m <sup>3</sup> de digestor
C4	Produtividade de biogás por tonelada de resíduo orgânico introduzido no digestor	Nota	0,74	0,61	1,00	0,61
		Obs.:	138,0 m <sup>3</sup> de biogás por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	114,2 m <sup>3</sup> de biogás por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	186,7 m <sup>3</sup> de biogás por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	113,3 m <sup>3</sup> de biogás por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor
C5	Custo de implantação pela capacidade instalada de tratamento de RSU	Nota	0,57	0,51	0,54	1,00
		Obs.:	192,87 € por t de RSU recebidos por ano	212,50 € por t de RSU recebidos por ano	202,70 € por t de RSU recebidos por ano	109,37 € por t de RSU recebidos por ano
C6	Geração anual de energia elétrica por tonelada de resíduo orgânico introduzido no digestor	Nota	1,00	0,73	0,57	0,67
		Obs.:	300 kWh de energia elétrica por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	220 kWh de energia elétrica por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	170 kWh de energia elétrica por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	200 kWh de energia elétrica por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor
Somatório das notas			5,07	3,72	4,61	3,81

RSU: resíduos sólidos urbanos.

A Tecnologia 2, que obteve segundo melhor desempenho, apresentou o melhor desempenho no grupo Histórico das Tecnologias, com destaque para a capacidade de construção de unidades de elevada capacidade instalada de biometanização. A elevada carga orgânica volumétrica aplicada (8 t por m<sup>3</sup>), boa produtividade de biogás (97 m<sup>3</sup> por t) e o bom atendimento às expectativas de projeto quanto à geração de energia, contribuíram para o seu bom desempenho.

A Tecnologia 3 apresentou um resultado 16,8% inferior ao obtido pela Tecnologia 4, tendo tido o melhor desempenho no grupo Dados de Projeto. Entretanto, a produtividade real de biogás foi consideravelmente inferior ao desempenho projetado para a unidade. Por sua vez, a Tecnologia 1 apresentou o pior desempenho dentre as avaliadas. O destaque negativo da Tecnologia 1 foi o baixo desempenho no grupo Dados Reais. Com resultados muito inferiores às expectativas de projeto, a planta com Tecnologia 1 utiliza menos de 50% da capacidade instalada e produz menos de 20% do biogás e da energia elétrica projetada.

O estudo demonstrou que as tecnologias estudadas, apesar de estarem relativamente consolidadas no mercado internacional, possuíam algum tipo de problema operacional. Como conclusão

geral, verifica-se que aplicação industrial de biometanização seca para tratamento de RSU está em fase de aprimoramento e que melhorias tecnológicas devem ser estudadas de modo a ampliar a viabilidade técnica e econômica do sistema. A implantação de uma unidade de biometanização de RSU em Minas Gerais só deve ser realizada com a adequação da mesma à realidade local. Metodologias de comparação de tecnologias, tal qual a utilizada neste estudo, têm sempre limitações inerentes, de forma que os resultados obtidos não podem ser utilizados de forma absoluta. Sendo assim, sugere-se que seja realizado um estudo mais aprofundado, de viabilidade técnica e econômica, das duas tecnologias mais bem pontuadas pela metodologia apresentada.

## Agradecimentos

Este estudo foi desenvolvido com apoio da Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM), a qual viabilizou a realização das visitas técnicas e disponibilizou todos os meios necessários para a execução dos trabalhos.

**Tabela 6** – Indicadores do Grupo Dados Reais.

Indicadores		Planta com a Tecnologia 1	Planta com a Tecnologia 2	Planta com a Tecnologia 3	Planta com a Tecnologia 4
D1	Utilização da capacidade instalada	Nota: 0,49	0,92	0,58	1,00
		Obs.: 48%	91%	57%	98%
D2	Geração de resíduos de planta	Nota: 0,80	0,84	0,82	1,00
		Obs.: 63%	60%	61%	50%
D3	Toneladas de resíduos orgânicos introduzidos no digestor pelo volume total dos digestores	Nota: 0,68	1,00	0,77	0,92
		Obs.: 5,4 t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor por ano por m <sup>3</sup> de digestor	8,0 t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor por ano por m <sup>3</sup> de digestor	6,2 t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor por ano por m <sup>3</sup> de digestor	7,4 t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor por ano por m <sup>3</sup> de digestor
D4	Produtividade de biogás por tonelada de resíduo orgânico introduzida no digestor	Nota: 0,38	0,71	0,84	1,00
		Obs.: 52 m <sup>3</sup> de biogás por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	97 m <sup>3</sup> de biogás por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	115 m <sup>3</sup> de biogás por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	137 m <sup>3</sup> de biogás por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor
D5	Produtividade diária de biogás pelo volume total dos digestores	Nota: 0,28	0,77	0,70	1,00
		Obs.: 0,8 m <sup>3</sup> de biogás por dia por m <sup>3</sup> de digestor	2,1 m <sup>3</sup> de biogás por dia por m <sup>3</sup> de digestor	1,9 m <sup>3</sup> de biogás por dia por m <sup>3</sup> de digestor	2,8 m <sup>3</sup> de biogás por dia por m <sup>3</sup> de digestor
D6	Geração anual de energia elétrica pelo volume total dos digestores	Nota: 0,44	1,00	0,96	0,80
		Obs.: 0,48 MWh.ano <sup>-1</sup> por m <sup>3</sup> de digestor	1,10 MWh.ano <sup>-1</sup> por m <sup>3</sup> de digestor	1,06 MWh.ano <sup>-1</sup> por m <sup>3</sup> de digestor	0,88 MWh.ano <sup>-1</sup> por m <sup>3</sup> de digestor
D7	Geração de energia elétrica por tonelada de resíduo orgânico introduzida no digestor	Nota: 0,52	0,80	1,00	0,70
		Obs.: 88 kWh de energia elétrica por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	137 kWh de energia elétrica por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	171 kWh de energia elétrica por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor	119 kWh de energia elétrica por t de resíduos orgânicos introduzidos no digestor
D8	Geração de energia elétrica por metro cúbico de biogás produzido	Nota: 1,00	0,83	0,88	0,51
		Obs.: 1,70 kWh de energia elétrica por m <sup>3</sup> de biogás	1,41 kWh de energia elétrica por m <sup>3</sup> de biogás	1,49 kWh de energia elétrica por m <sup>3</sup> de biogás	0,87 kWh de energia elétrica por m <sup>3</sup> de biogás
D9	Custo de implantação por tonelada de RSU recebido na planta	Nota: 0,28	0,47	0,31	1,00
		Obs.: 399,95 € por t de RSU recebidos por ano	234,71 € por t de RSU recebidos por ano	355,17 € por t de RSU recebidos por ano	111,12 € por t de RSU recebidos por ano
D10	Atendimento às expectativas de geração de biogás	Nota: 0,15	0,65	0,29	1,00
		Obs.: 18%	77%	35%	119%
D11	Atendimento as expectativa de geração de energia elétrica	Nota: 0,24	0,96	0,98	1,00
		Obs.: 14%	56%	57%	58%
Somatório das notas		5,25	8,95	8,13	9,93

RSU: resíduos sólidos urbanos.

**Tabela 7** – Desempenho das tecnologias em cada um dos grupos de indicadores — soma simples.

	Tecnologia 1	Tecnologia 2	Tecnologia 3	Tecnologia 4
Histórico das Tecnologias	4,76	7,33	6,02	4,98
Aspectos Operacionais	4,00	3,00	2,50	4,00
Dados de Projeto	5,07	3,72	4,61	3,81
Dados Reais	5,25	8,95	8,13	9,93
Somatório das notas	19,08	23,00	21,27	22,72

**Tabela 8** – Desempenho das tecnologias em cada um dos grupos de indicadores — com pesos.

	Peso	Tecnologia 1	Tecnologia 2	Tecnologia 3	Tecnologia 4
Histórico das Tecnologias	1	4,76	7,33	6,02	4,98
Aspectos Operacionais	2,5	10,00	7,50	6,25	10,00
Dados de Projeto	1,5	7,61	5,59	6,92	5,71
Dados Reais	4	20,98	35,80	32,52	39,72
Somatório das notas		43,36	56,21	51,72	60,41

## Referências

- ARCHER, E.; BADDELEY, A.; KLEIN, A.; SCHWAGER, J.; WHITING, K. (2005) *Mechanical-biological-treatment : a guide for decision makers processes, policies & markets*. Londres, Juniper Consultancy Services Ltd, v. 1.
- AYUNTAMIENTO DE VITORIA-GASTEIZ. (2009) Departamento de Medio Ambiente y Sostenibilidad. *Balance anual de residuos 2008*. Disponível em: <<http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/34050.pdf>>. Acesso em: mar. 2010.
- CTR Valladolid. Disponível em: <[www.ctrvalladolid.com](http://www.ctrvalladolid.com)>. Acesso em: jun. 2010.
- DE BAERE, L. & MATTHEEUWS, B. (2008) *State-of-the-art 2008 — anaerobic digestion of solid waste* Disponível em: <<http://www.waste-management-world.com/index/display/article-display/339836/articles/waste-management-world/volume-9/issue-4/features/state-of-the-art-2008-anaerobic-digestion-of-solid-waste.html>>. Acesso em: ago. 2009.
- GOBIERNO DE LA RIOJA. Disponível em: <<http://www.larioja.org/npRioja/default/defaultpage.jsp?idtab=470235>>. Acesso em: mar. 2010.
- GOVERNMENT OF INDIA. (2000) The Indian Municipal Solid Waste (Management and Handling) Rules 2000. Nova Deli.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. (2010) *Plan Regional de Ámbito Sectorial de la Bioenergía en Castilla y León*. 182 p. Disponível em: <<http://www.jcyl.es/web/jcyl/Gobierno/es/Plantilla100DetalleFeed/1246464876027/Programa/1284151659081/Comunicacion>>. Acesso em: set. 2010.
- L'ENTITAT DEL MEDI AMBIENT DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA. (2007), *Dades Ambientals Metropolitans 2006*. Disponível em: <[http://www.amb.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=d7a530ce-1a81-4a7f-b53a-c64ec4a2d737&groupId=4799](http://www.amb.cat/c/document_library/get_file?uuid=d7a530ce-1a81-4a7f-b53a-c64ec4a2d737&groupId=4799)>. Acesso em: 20 dez. 2012.
- L'ENTITAT DEL MEDI AMBIENT DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA. (2008) *Dades Ambientals Metropolitans 2007*. Disponível em: <<http://www3.amb.cat/ema/docum/Dadesambientalsmetropolitans2007.PDF>>. Acesso em: 20 dez. 2012.
- L'ENTITAT DEL MEDI AMBIENT DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA. (2009) *Dades Ambientals Metropolitans 2008*. Disponível em: <[http://www3.amb.cat/ema/docum/dades\\_ambientals\\_08.pdf](http://www3.amb.cat/ema/docum/dades_ambientals_08.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2012.
- L'ENTITAT DEL MEDI AMBIENT DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA. (2010) *Dades Ambientals Metropolitans 2009*. Disponível em: <[http://www.amb.cat/c/document\\_library/get\\_file?uuid=e39f1018-0250-4455-adcf-b8d55c052dc1&groupId=4799](http://www.amb.cat/c/document_library/get_file?uuid=e39f1018-0250-4455-adcf-b8d55c052dc1&groupId=4799)>. Acesso em: 20 dez. 2012.
- UNIÃO EUROPEIA. (1999) Diretiva Europeia 1999/31/CE do Conselho, de 26 de abril de 1999. Relativa à deposição de resíduos em aterros.
- VOEGELI, Y.; ZURBRÜGG, C. (2008) *Decentralised Anaerobic Digestion of Kitchen and Market Waste in Developing Countries – “State-Of-The-Art” in South India*. In: SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM on ENERGY from BIOMASS and WASTE, 2008, Veneza, Itália. Artigo. 2008. Disponível em: <[http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/Voegeli\\_2008.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/Voegeli_2008.pdf)>. Acesso em: mar. 2010.