

## Saneamento ambiental



## Gerenciamento de resíduos sólidos

**Conselho Regional de Medicina Veterinária do Estado de Minas Gerais**

## **PROJETO DE EDUCAÇÃO CONTINUADA**

É o CRMV-MG participando do processo de atualização técnica dos profissionais e levando informações da melhor qualidade a todos os colegas.



**VALORIZAÇÃO PROFISSIONAL**  
compromisso com você

[www.crmvmg.org.br](http://www.crmvmg.org.br)



## Editorial

Caros Colegas,

Novamente temos o prazer de encaminhar à comunidade veterinária mineira o volume 68 do Cadernos Técnicos. A Escola de Veterinária e o Conselho Regional de Medicina Veterinária de Minas Gerais, com satisfação, vêm consolidando a parceria e o compromisso entre as duas instituições com relação à educação continuada da comunidade dos médicos veterinários e zootecnistas de Minas Gerais. O presente número aborda, de forma objetiva, a temática saneamento ambiental, gerenciamento de resíduos sólidos, um assunto de altíssima relevância, pois o manejo de resíduos sólidos está presente no dia a dia do profissional, tanto na clínica veterinária como na propriedade rural. Desse modo, este volume irá contribuir para o melhor entendimento dessas questões pelos profissionais da área. Com este número do Cadernos Técnicos, esperamos contribuir tanto para a conscientização quanto para a informação dos colegas e, assim, auxiliá-los na construção de melhores opções de manejo de animais no contexto em que estão inseridos. Portanto, parabéns à comunidade de leitores que utiliza o Cadernos Técnicos para aprofundar seu conhecimento e entendimento sobre o gerenciamento de resíduos sólidos, em benefício dos animais e da sociedade.

### Universidade Federal de Minas Gerais

#### Escola de Veterinária

Fundação de Estudo e Pesquisa em  
Medicina Veterinária e Zootecnia  
- FEPMVZ Editora

#### Conselho Regional de Medicina Veterinária do Estado de Minas Gerais - CRMV-MG

[www.vet.ufmg.br/editora](http://www.vet.ufmg.br/editora)

Correspondência:

**FEPMVZ Editora**

Caixa Postal 567

30123-970 - Belo Horizonte - MG

Telefone: (31) 3409-2042

E-mail: [editora.vet.ufmg@gmail.com](mailto:editora.vet.ufmg@gmail.com)

*Prof. Antonio de Pinho Marques Junior*

*Editor-Chefe do Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (ABMVZ) - CRMV-MG nº 0918*

*Prof. José Aurélio Garcia Bergmann*

*Diretor da Escola de Veterinária da UFMG - CRMV-MG nº 1372*

*Prof. Marcos Bryan Heinemann*

*Editor do Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia - CRMV-MG nº 1372*

*Prof. Nivaldo da Silva*

*Presidente do CRMV-MG - CRMV-MG nº 0747*

# Conselho Regional de Medicina Veterinária do Estado de Minas Gerais - CRMV-MG

**Presidente:**

Prof. Nivaldo da Silva

**E-mail:**

crmvmg@crmvmg.org.br

## CADERNOS TÉCNICOS DE VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

Edição da FEPMVZ Editora em convênio com o CRMV-MG  
Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia - FEPMVZ

**Editor da FEPMVZ Editora:**

Prof. Antônio de Pinho Marques Junior

**Editor do Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia:**

Prof. Marcos Bryan Heinemann

**Editor convidado para esta edição:**

Luciano dos Santos Rodrigues

**Revisora autônoma:**

Giovanna Spotorno

**Tiragem desta edição:**

9.000 exemplares

**Layout e editoração:**

Soluções Criativas em Comunicação Ltda.

**Fotos da capa:**

bigstockphoto.com

**Impressão:**

Imprensa Universitária

**Permite-se a reprodução total ou parcial,  
sem consulta prévia, desde que seja citada a fonte.**

Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia. (Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária da UFMG)

N.1- 1986 - Belo Horizonte, Centro de Extensão da Escola de Veterinária da UFMG, 1986-1998.

N.24-28 1998-1999 - Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora, 1998-1999

v. ilustr. 23cm

N.29- 1999- Belo Horizonte, Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora, 1999-Periodicidade irregular.

1. Medicina Veterinária - Periódicos. 2. Produção Animal - Periódicos. 3. Produtos de Origem Animal, Tecnologia e Inspeção - Periódicos. 4. Extensão Rural - Periódicos.

I. FEP MVZ Editora, ed.

# Prefácio

*Luciano dos Santos Rodrigues*

*Israel José da Silva - CRMV-MG nº 1033*

*Marcos Bryan Heinemann - CRMV-MG nº 1372*

Professores da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais

Os sistemas de produção animal sempre foram alvo de inovações tecnológicas para melhorias de performances em conversão alimentar, qualidade das carcaças, técnicas de reprodução, softwares de gerenciamento e sanidade do plantel. Entretanto, muito pouco se trabalhou na vertente de se obter um animal ou produto deste com menor quantidade de resíduos gerados por unidade de produção. Na concepção contemporânea de produtividade, a escala por unidade de área ou tempo, com qualidade da mercadoria, é o referencial exigido pelo mercado. Hoje, sabidamente, como em outros nichos de produção, os produtos de origem animal terão pela frente a barreira de serem produzidos de forma limpa, ou seja, sem causarem impacto ambiental. Nesse aspecto, muito terá que ser feito para se quebrarem paradigmas que predominam no sistema atual. Os profissionais que atuam na área de produção deverão ter foco nos impactos gerados pela forma de produção, além das metas de lucro. Precisarão ter conhecimento de como mitigar os impactos ambientais, pois poderão ser surpreendidos na hora da aprovação dos projetos agropecuários nos fóruns de homologação das licenças ambientais ou outorga do uso da água. Acreditamos que, em um futuro próximo, os profissionais de medicina veterinária e zootecnia irão se deparar com situações em que o gerenciamento de resíduos sólidos, com a utilização dos preceitos de redução, reutilização e reciclagem, será visto como condição *sine qua non* para o bom funcionamento das atividades desses profissionais. Logo, uma visão em que o manejo de resíduos seja considerado no custo da matriz de produção passa a ser um requisito para os profissionais, que terão que andar em simbiose com os órgãos reguladores e fiscalizadores das leis ambientais, evitando a reengenharia dos projetos com o somatório de custos extras em adaptações e reformas, nem sempre adequadas financeiramente à matriz de produção. Esta edição do Cadernos Técnicos revisa os principais aspectos do gerenciamento de resíduos sólidos, bem como a legislação ambiental em relação à atividade dos médicos veterinários e zootecnistas, entre outros profissionais. Esperamos, dessa forma, que possa trazer o conhecimento da questão resíduos na agroindústria aos leitores deste volume.



# Sumário

- 1. Legislação sobre resíduos sólidos .....9**  
*Luciano dos Santos Rodrigues*  
*Revisão sobre as principais leis ambientais sobre resíduos sólidos*
- 2. Resíduos sólidos domiciliares: geração e gerenciamento ..... 20**  
*Luciano dos Santos Rodrigues*  
*Israel José da Silva*  
*Rosângela Francisca de Paula Vítor Marques*  
*Camila Silva Franco*  
*O artigo aborda os principais conceitos de manejo dos resíduos sólidos domiciliares*
- 3. Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde ..... 35**  
*Luciano dos Santos Rodrigues*  
*Israel José da Silva*  
*Anna Carolina Ferreira Spelta*  
*Bruna Coelho Lopes*  
*O capítulo trata sobre o gerenciamento de resíduos gerados em estabelecimentos prestadores de serviços de saúde*
- 4. Gerenciamento de resíduos sólidos agrossilvopastoris e agroindustriais ..... 49**  
*Luciano dos Santos Rodrigues*  
*Israel José da Silva*  
*Bruna Coelho Lopes*  
*Anna Carolina Ferreira Spelta*  
*Revisão sobre as características gerenciais dos resíduos sólidos no setor rural*
- 5. Aproveitamento energético de resíduos sólidos ..... 65**  
*Luciano dos Santos Rodrigues*  
*Israel José da Silva*  
*Ana Cristina Araujo Pinto*  
*Como fazer e quais os tipos de aproveitamento energético de resíduos sólidos*



# Legislação sobre resíduos sólidos

bigstockphoto.com



*Luciano dos Santos Rodrigues*

Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais

Contato: lsantosrodrigues@gmail.com

## Introdução

A temática resíduos sólidos é muito atual e de grande relevância para indústrias, comércio, agropecuária e principalmente para os municípios brasileiros, sobretudo após a edição da Lei Federal nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos<sup>1</sup> (PNRS).

A referida lei estabeleceu os princípios, os objetivos, os instrumentos, as diretrizes e definiu as responsabilidades dos geradores de resíduos sólidos e do

poder público. A PNRS também dispõe sobre os instrumentos econômicos e as formas de destinação.

O grande volume de resíduos sólidos gerados nas diversas atividades domésticas, comerciais, industriais e agrícolas tem sido considerado um dos maiores responsáveis pela poluição ambiental no Brasil e no mundo.

O aumento do consumo e a precária destinação que tem sido dada aos resíduos sólidos, como o usual lançamento em rios, córregos e terrenos baldios, além dos grandes impactos ambientais

causados, são agravados em razão de sérios problemas de saúde pública ocorridos.

A aplicação da PNRS, com destaque para o aterramento dos rejeitos, é fundamental para que se possa reverter a situação atual e passa pelo gerenciamento adequado dos resíduos pelos geradores.

## **Política Nacional dos Resíduos Sólidos**

A PNRS (Lei Federal nº 12.305/10), no art. 3º, define resíduos sólidos da seguinte forma:

*resíduos sólidos:* material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face

*Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível.*

da melhor tecnologia disponível.

Outras definições importantes da PNRS:

1. *área contaminada:* local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos;

2. *ciclo de vida do produto:* série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final;

3. *coleta seletiva:* coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição;

4. *destinação final ambientalmente adequada:* destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente), do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária) e do Suasa (Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária), entre elas

a disposição final ambientalmente adequada;

5. *disposição final ambientalmente adequada*: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

6. *geradores de resíduos sólidos*: pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo;

7. *gerenciamento de resíduos sólidos*: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) ou com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), exigidos na forma desta lei;

8. *logística reversa*: instrumento de desenvolvimento econômico e social, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou

outra destinação final ambientalmente adequada;

9. *reciclagem*: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolvem a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insu- mos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

10. *rejeitos*: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos dispon- íveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambiental- mente adequada;

11. *reutilização*: processo de aproveita- mento dos resíduos sem sua trans- formação biológica, física ou físico- química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa.

Observa-se por esses conceitos que os resíduos sólidos são tudo aquilo que é remanescente da cadeia produtiva, mas que ainda pode sofrer processo de tratamento e recuperação para reutiliza- ção ou reciclagem, enquanto os rejeitos são os resíduos sólidos que já sofreram processo de tratamento e não apresen- tam outra alternativa a não ser a disposi- ção final em aterros sanitários.

## Objetivos e Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos

São objetivos da PNRS:

1. proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
2. não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento de resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
3. estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
4. desenvolvimento e adoção de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
5. redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
6. incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
7. gestão integrada de resíduos sólidos;
8. articulação entre as diferentes esferas do poder público e destas com o setor empresarial com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
9. capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos.

São princípios da PNRS:

1. *Princípio da prevenção e da precaução*: visa prevenir e precaver a ocorrência de danos ambientais, pois o dano ambiental pode ter como características a irreparabilidade e a irreversibilidade.
2. *Princípio do poluidor-pagador e do protetor-recebedor*: o objetivo do poluidor-pagador é imputar ao poluidor o custo financeiro pela poluição que ele tiver causado ao meio ambiente, ou seja, à ação de poluir, cabe sempre uma devida e necessária reação, que corresponde ao custo pelo dano causado. É a partir deste princípio que se tem fundamento a aplicação da responsabilidade civil pelo dano ambiental, pois o poluidor sabe perfeitamente que, ao poluir, será obrigado a pagar financeiramente pelo dano que houver praticado.

O princípio do poluidor-pagador é evitar que danos sejam causados ao meio ambiente, porém não significa que o poluidor possa comprar sua cota de poluição, mas sim que o poluidor deverá ser obrigado a ressarcir monetariamente o dano que causar ao meio ambiente.

O protetor-recebedor é aquele que protege o meio ambiente em benefício da coletividade e que, portanto, deve receber uma compensação financeira como incentivo ao serviço prestado. Trata-se de remuneração indireta pelo

serviço ambiental prestado. Consiste em uma remuneração, em geral, concedida por meio da redução de alíquotas do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano), isenção de ITR (Imposto Territorial Rural), ou redução de alíquotas do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços). No caso do ICMS, a compensação foi denominada de ICMS Ecológico ou ICMS Verde.

3. *Princípio da visão sistêmica na gestão de resíduos sólidos:* na gestão de resíduos sólidos, as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública devem ser analisadas de modo abrangente e em conjunto.

4. *Princípio do desenvolvimento sustentável:* o desenvolvimento sustentável tem como fundamento, o crescimento econômico, sem afetar o meio ambiente ecologicamente equilibrado e a sadia qualidade de vida das gerações presentes

e futuras. Na PNRS, o desenvolvimento sustentável aparece na obrigatoriedade da coleta seletiva e da reciclagem de resíduos, incluindo a produção de embalagens que propiciem a reciclagem e a reutilização.

5. *Princípio da ecoeficiência:* decorre do princípio do consumo sustentável, ou seja, a necessidade de geração de produtos que atendam ao princípio da sadia qualidade de vida e, ao mesmo tempo, permitam a redução do impacto ambiental causado pelo consumo.

6. *Princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos:* tal princípio envolve as cadeias produtivas, o poder público e a coletividade titular do bem ambiental, todos unidos no sentido de produzir e destinar corretamente os resíduos, com a finalidade de reduzir o impacto ambiental.

Os instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos são: i) os planos de resíduos sólidos; ii) os inventá-

*Os instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos são: i) os planos de resíduos sólidos; ii) os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos; iii) a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; iv) o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas e outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; v) o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária; vi) a pesquisa científica e tecnológica; vii) a educação ambiental e os acordos setoriais.*

rios e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos; iii) a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; iv) o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas e outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; v) o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária; vi) a pesquisa científica e tecnológica; vii) a educação ambiental e os acordos setoriais.

No art. 9º da PNRS, são determinadas as prioridades de ações na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos, sendo estabelecida a seguinte ordem: a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Com isso, observa-se claramente que a gestão e o gerenciamento dos resíduos prioritariamente passam pela redução do consumo e pela reciclagem, sendo aterrados apenas os rejeitos.

A recuperação energética de resíduos sólidos poderá ser utilizada desde que a tecnologia empregada seja comprovadamente viável técnica e ambientalmente e que haja implantação de rigoroso programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos, aprovada pelo órgão ambiental.

## Classificação dos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são classificados quanto à origem em:

1. *resíduos domiciliares*: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
2. *resíduos de limpeza urbana*: originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
3. *resíduos sólidos urbanos*: os resíduos englobados como domiciliares e de limpeza urbana;
4. *resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços*: os gerados nessas atividades, exceto os de limpeza urbana, saneamento básico, serviços de saúde, construção civil e serviços de transporte;
5. *resíduos dos serviços públicos de saneamento básico*: os gerados nessas atividades, exceto os resíduos sólidos urbanos;
6. *resíduos industriais*: os gerados nos processos produtivos e nas instalações industriais;
7. *resíduos de serviços de saúde*: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
8. *resíduos da construção civil*: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, incluídos os resultantes da preparação e es-

cavação de terrenos para obras civis;

9. *resíduos agrossilvopastoris*: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
10. *resíduos de serviços de transporte*: os originados de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários, ferroviários e passagens de fronteira;
11. *resíduos de minerais*: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Quanto à periculosidade, os resíduos são classificados em:

1. *perigosos*: os resíduos perigosos são denominados aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com o regulamento ou a norma técnica;
2. *não perigosos*: são aqueles que não se enquadram na definição dos perigosos.

## **Planos de resíduos sólidos**

Os planos de resíduos sólidos são executados em âmbito nacional, estadual, microrregional, intermunicipal

e municipal. No âmbito municipal, o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos deve ter, no mínimo, o seguinte conteúdo:

1. diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;
2. identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;
3. identificação de possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;
4. identificação dos resíduos sólidos e dos geradores desses resíduos sujeitos a plano de gerenciamento específico ou a sistema de logística reversa da PNRS, bem como às normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
5. procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e no manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

6. indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
  7. regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos;
  8. definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS);
  9. programas e ações de capacitação técnica voltados à sua implementação e operacionalização;
  10. programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;
  11. programas e ações para participação dos grupos interessados, em especial as cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, formados por pessoas físicas de baixa renda;
  12. mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;
  13. sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços;
  14. metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;
  15. descrição de formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa;
  16. meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos;
  17. ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;
  18. identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas e respectivas medidas saneadoras.
- Estão sujeitos à elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos:
1. os geradores de resíduos sólidos tais como: resíduos dos serviços públicos de saneamento, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, e resíduos de mineração;
  2. as pessoas jurídicas que tenham como finalidade social a atuação no tratamento ou em qualquer outra etapa do gerenciamento de resíduos sólidos, incluídas a destinação e a disposição final;

3. os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que:
  - a) gerem resíduos perigosos;
  - b) gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal;
4. as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama;
5. os responsáveis pelos terminais e por outras instalações de transporte, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e, se couber, do SNVS, as empresas de transporte;
6. os responsáveis por atividades agrossilvopastoris, se exigido pelo órgão competente do Sisnama, do SNVS ou do Suasa.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) deve ter o seguinte conteúdo mínimo:

1. descrição do empreendimento ou da atividade;
2. diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados;
3. observadas as normas estabelecidas

pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos:

4. explicitação dos responsáveis por etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;
5. definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador;
6. identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;
7. ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;
8. metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, à reutilização e reciclagem;
9. ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
10. medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionadas aos resíduos sólidos;
11. periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do Sisnama.

A PNRS instituiu a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a qual deve abranger fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. Os principais objetivos da responsabilidade compartilhada são:

*A PNRS instituiu a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a qual deve abranger fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.*

1. compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;
2. promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou outras cadeias produtivas;
3. reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;
4. incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;
5. estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;

6. propiciar eficiência e sustentabilidade para as atividades produtivas;

7. incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.

De acordo com o art. 33, estão obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço

público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: i) agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas; ii) pilhas e baterias; iii) pneus; iv) óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; v) lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; vi) produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

No art. 47 da PNRS, foram estabelecidas as proibições das seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos:

- lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;
- lançamento *in natura* a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;
- queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para esta finalidade;
- outras formas vedadas pelo poder público.

*Quando decretada emergência sanitária, a queima de resíduos a céu aberto pode ser realizada, desde que autorizada e acompanhada pelos órgãos competente do Sisnama, do SNVS e do Suasa.*

de aterros sanitários ou industriais, em unidades de conservação e em áreas de preservação permanente ou de proteção de mananciais.

Já o art. 49 trata das atividades proibidas em áreas de disposição final de resíduos ou rejeitos, sendo as seguintes:

- utilização dos rejeitos dispostos como alimentação;
- catação;
- criação de animais domésticos;
- fixação de habitações temporárias ou permanentes;
- outras atividades vedadas pelo poder público.

Quando decretada emergência sanitária, a queima de resíduos a céu aberto pode ser realizada, desde que autorizada e acompanhada pelos órgãos competente do Sisnama, do SNVS e do Suasa.

Assegurada a devida impermeabilização, as bacias de decantação de resíduos ou rejeitos industriais ou de mineração, devidamente licenciadas pelo órgão competente do Sisnama, não são consideradas corpos hídricos.

Também fica proibida a disposição final de rejeitos, incluída a instalação

## Referências

1. BRASIL, *Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.* Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em março de 2013.

# Resíduos sólidos domiciliares: geração e gerenciamento

*Luciano dos Santos Rodrigues<sup>1\*</sup>*

*Israel José da Silva<sup>1</sup> CRMV 1033*

*Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques<sup>1\*\*</sup>*

*Camila Silva Franco<sup>1\*\*\*</sup>*

<sup>1</sup>Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais

\* Autor para correspondência: lsantosrodrigues@gmail.com

\*\* Engenheira florestal autônoma

\*\*\* Engenheira ambiental autônoma



bigstockphoto.com

## Introdução

Os resíduos domiciliares são gerados em residências e também em estabelecimentos particulares, como clínicas, agroindústrias e propriedades rurais, entre outros. É o lixo comum gerado pelas pessoas, e a prefeitura assume responsabilidade de coleta, tratamento e destinação final adequados.

Outro aspecto relevante desse tipo de resíduo está relacionado à educação ambiental, pois como esses resíduos são gerados por toda a população, todos devem saber das responsabilidades nas etapas de gerenciamento desses resíduos.

## Resíduos sólidos, definições

Na literatura, é possível encontrar diversas definições e classificações para resíduos sólidos, uma vez que estas dependem dos objetivos desejados. Segundo a Norma Brasileira NBR 10004, de 2004<sup>1</sup>, resíduos sólidos são definidos como:

“aqueles nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos

e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

*Resíduo: o que sobra de uma atividade qualquer.*

*Lixo: o que sobra de uma atividade qualquer e é descartado sem que seus valores (sociais, econômicos e ambientais) potenciais sejam considerados.*

micamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

Em abordagens para a educação ambiental, Logarezzi<sup>3</sup> difere resíduo de lixo da seguinte forma:

a) Resíduo: o que sobra de uma atividade qualquer. Antes de ser gerado, o resíduo pode ser evitado e, após, reutilizado ou

reciclado. Os resíduos sólidos são os de disposição inviável na rede de esgoto ou de lançamento na atmosfera.

b) Lixo: o que sobra de uma atividade qualquer e é descartado sem que seus valores (sociais, econômicos e ambientais) potenciais sejam considerados. Incluem-se nesta categoria tanto os rejeitos como os recicláveis e reutilizáveis quando destinados de forma ambientalmente inadequada, adquirindo aspectos de inutilidade, estorvo, imundice e risco.

**Tabela 1. Classificação dos resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais**

Classe I perigosos	são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, ou ainda os inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos.
Classe II-A não inertes:	são aqueles que não se enquadram na classe I e que podem ser combustíveis, biodegradáveis ou solúveis em água.
Classe II-B inertes	são aqueles que, ensaiados segundo o teste de solubilização apresentado pela NBR 10006/2004, não apresentam qualquer de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando os padrões de cor, turbidez, sabor e aspecto <sup>1</sup> .

## Classificação dos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto aos riscos potenciais e à origem.

### Quanto aos riscos potenciais

A Tab. 1 mostra a classificação dos resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais.

O conhecimento das características químicas possibilita a seleção de processos de tratamento e técnicas de disposição final<sup>4</sup>. Percebe-se, então, a necessidade de maior rigor na coleta, no armazenamento, no transporte e na destinação final dos resíduos da classe I, seguidos pelos resíduos da classe II-A, em comparação aos resíduos da classe II-B.

### Quanto à origem

Segundo a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010<sup>2</sup>, classificam-se os resíduos sólidos quanto à origem como:

- resíduos sólidos domiciliares (RSD);
- resíduos de limpeza urbana;
- resíduos sólidos urbanos (RSU), englobados em i e ii;
- resíduos provenientes do comércio e de prestadores de serviços;
- resíduos provenientes da indústria;
- resíduos provenientes de serviços de saúde (RSS);
- resíduos da construção civil (RCC);
- resíduos provenientes de atividades agrossilvopastoris;
- resíduos de serviços de transportes;

j) resíduos provenientes da mineração.

Nessa classificação, destaca-se a necessidade de tratamento especial aos resíduos industriais, RSS, RCC e agrossilvopastoris<sup>2</sup>.

A classificação dos resíduos sólidos pode ter como base as possibilidades de reaproveitamento, já com vistas à triagem adequada. Os resíduos sólidos podem ser aproveitados como fonte energética, em processos como a biodigestão da matéria orgânica e a utilização do biogás ou pirólise, também como matéria-prima no processo de reciclagem.

### Caracterização física dos resíduos sólidos

A composição gravimétrica do lixo pode variar tanto qualitativa quanto quantitativamente, de acordo com os seguintes fatores: sociais, econômicos,

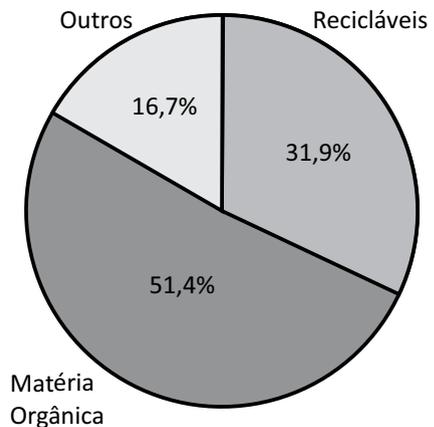


Figura 1. Composição gravimétrica de resíduos sólidos no Brasil.

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

culturais, geográficos e climáticos. Neste contexto, é de interesse obter informações que relacionam os resíduos às classes socioeconômicas e à época do ano<sup>4</sup>. A Fig. 1 permite visualizar, de um modo geral, a participação de diferentes materiais na fração total dos RSU no ano de 2011, porém esta varia de acordo com as diferentes regiões do país.

Qualquer que seja a classificação dos RSU, sua caracterização e o conhecimento de aspectos relativos à sua produção são elementos importantes para o planejamento correto dos serviços de limpeza pública, em todas as suas etapas<sup>5</sup>.

A quantidade exata de resíduos gerados é de difícil determinação pelo fato de esta sofrer interferências pelo armazenamento, pela reutilização, pela reciclagem e pelo descarte em locais clandestinos, o que acaba por desviar parte dos materiais antes do descarte em local de domínio público. Em razão dessas interferências, na prática, determina-se a quantidade de resíduos sólidos coletados<sup>4</sup>. Contudo, são inúmeras as metodologias utilizadas na caracterização dos resíduos sólidos<sup>6,7</sup>.

A caracterização volumétrica dos resíduos sólidos é também um estudo

*A composição gravimétrica do lixo pode variar tanto qualitativa quanto quantitativamente, de acordo com os seguintes fatores: sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos.*

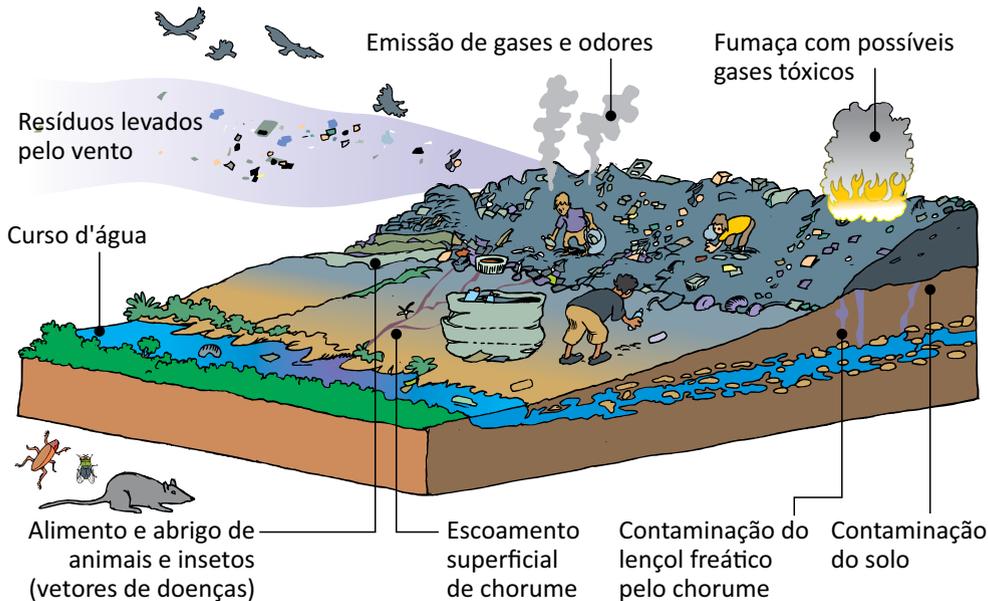
de extrema importância, no sentido de identificar sua densidade e utilizar os valores para o dimensionamento de áreas de disposição final, galpões de triagem, capacidade de coleta, entre outros.

A geração de RSU no Brasil registrou crescimento de 1,8%, de 2010 para 2011, como

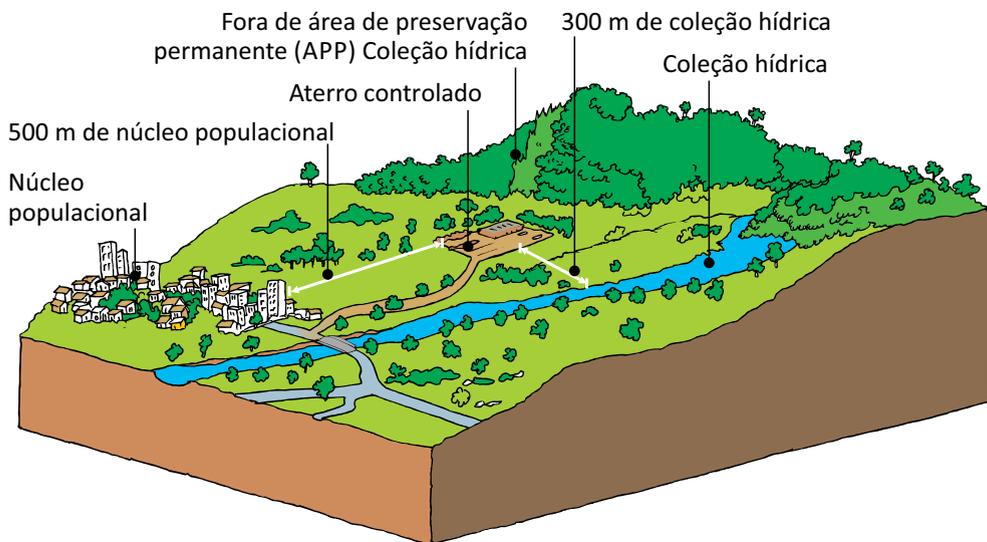
reportado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais<sup>8</sup> (Abrelpe), no panorama dos resíduos sólidos no Brasil. Observou-se uma taxa de crescimento de 0,8% na geração de RSU *per capita*, inferior à taxa de crescimento populacional urbano (1,8%), totalizando 61.936.368 ton. ano<sup>-1</sup>. Entretanto, 6,4 milhões de toneladas de RSU ainda deixaram de ser coletados no Brasil, no ano de 2011 e, por consequência, tiveram destino impróprio.

No Brasil, são gerados mais 300 g.hab<sup>-1</sup> dia de resíduos de varrição, limpeza de logradouros e entulhos. Portanto, a média nacional de produção de RSU é de 900 g.hab<sup>-1</sup> dia, porém há variação de acordo com o tamanho da cidade, podendo chegar até a 1300 g.hab<sup>-1</sup> dia em cidades como Rio de Janeiro<sup>9</sup>.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico<sup>10</sup> (PNSB), os vazadouros a céu aberto, conhecidos



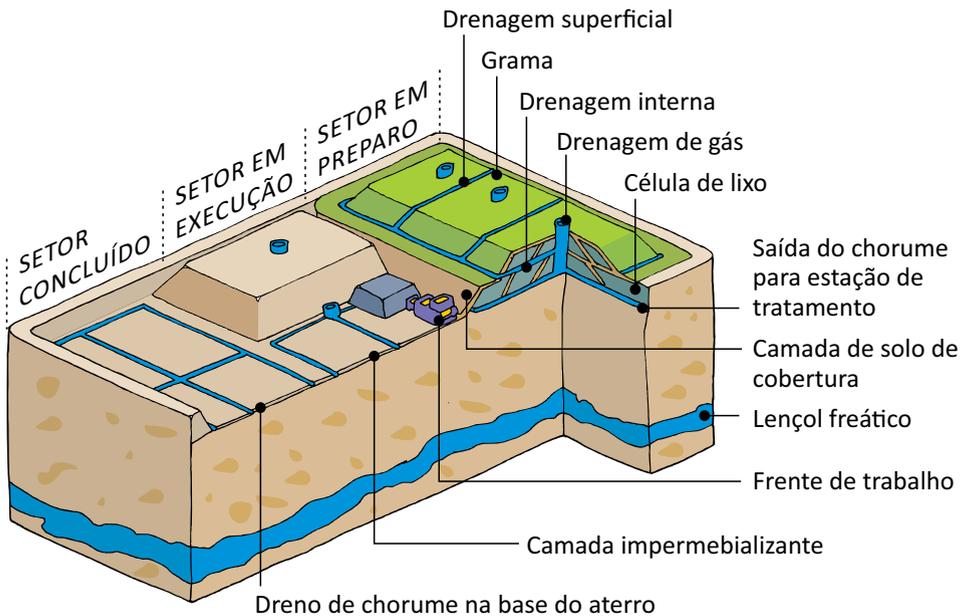
**Figura 2. Impactos ambientais e sociais da disposição de resíduos sólidos urbanos em vazadouro a céu aberto (lixão).**



**Figura 3. Esquema de um aterro controlado, com destaque para as medidas mínimas de redução dos impactos ambientais.**

como “lixões”, ainda são o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros, mas esse quadro teve uma mudança significativa

nos últimos 20 anos. Em 1989, eles representavam o destino final de resíduos sólidos em 88,2% dos municípios. As regiões Nordeste (89,3%) e Norte



**Figura 4. Esquema de um aterro sanitário, com detalhamento de suas estruturas.**



**Figura 5. Usina de triagem e compostagem de lixo.**

(85,5%) registraram as maiores proporções de municípios que destinavam seus resíduos aos lixões, enquanto as regiões Sul (15,8%) e Sudeste (18,7%) apresentaram os menores percentuais. Paralelamente, houve uma expansão no destino dos resíduos para os aterros sanitários, solução mais adequada, que passou de 17,3% dos municípios, em 2000, para 27,7%, em 2008 (Tab. 2).

Em todo o país, aproximadamente 26,8% dos municípios que possuíam serviço de manejo de resíduos sólidos tinham o conhecimento da presença de catadores nas unidades de disposição final de resíduos sólidos. A maior quantidade estava nas regiões Centro-Oeste e Nordeste: 46% e 43%, respectivamente. Destacavam-se os municípios do Mato Grosso do Sul e de Goiás (57,7% e

*Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 10 (PNSB), os vazadouros a céu aberto, conhecidos como "lixões", ainda são o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros.*

52,8%, respectivamente, conheciam a existência de catadores) e, na região Nordeste, os municípios de Pernambuco (67%), Alagoas (64%) e Ceará (60%)<sup>10</sup>.

Dos 5.507 municípios brasileiros, 4.026, ou seja, 73,1% têm população até 20.000 habitantes. Nestes municípios, 68,5% dos resíduos gerados são vazados em lixões

e em alagados<sup>10</sup>.

Já no estado de Minas Gerais, como forma de disposição final de resíduos, 30,61% dos municípios são atendidos com vazadouros a céu aberto, 17,86% com aterros controlados, 45,87% com aterros sanitários e 5,44% com UTCs<sup>11</sup>.

O município presta serviços de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos aos moradores, o que abrange as atividades referentes à tomada de

decisões estratégicas, envolvendo políticas, instrumentos, meios e boas práticas ambientais, e aos aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho. Tais ser-

**Tabela 2. Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos no Brasil, 1989/2008**

Ano	Destino final dos resíduos, por unidades de destino (%)		
	Vazadouro a céu aberto	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: IBGE.<sup>10</sup>

viços relacionam-se à coleta, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final de resíduos sólidos<sup>12</sup> e podem atingir cerca de 20% dos gastos municipais, segundo o IBGE<sup>10</sup>. As diretrizes das estratégias de gestão e gerenciamento de RSU objetivam, evitar ou reduzir a geração de resíduos e poluentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. Desse modo, busca-se priorizar a redução na fonte de geração, o reaproveitamento, o tratamento e a disposição final.

A responsabilidade direta ou indireta da geração dos resíduos sólidos é disposta na Lei nº 12305/2010 de Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis<sup>2</sup>. Contudo, a responsabilidade pela geração e correto destino dos resíduos sólidos é atribuída às indústrias, transportadoras, comércios, municípios e consumidores pela Lei nº 9605 de crimes ambientais<sup>13</sup>.

## **Formas de disposição de resíduos**

A deposição dos resíduos sólidos diretamente no solo requer um estudo das condições do ambiente, seja na

área hidrológica, geológica, ecológica, cultural, topográfica, econômica e em tantas outras, para que sejam respeitados os aspectos ambientais. Do contrário, a consequência será a degradação dos recursos naturais, podendo ainda se produzirem líquidos de percolação, dependendo do resíduo depositado no solo. Esses líquidos irão poluir as águas superficiais ou subterrâneas, produzir gases, maus odores, bem como comprometer o aspecto estético com a poluição visual.

Em Minas Gerais, destacam-se quatro formas destinação final dos resíduos sólidos<sup>14</sup>:

*Vazadouro a céu aberto*: caracteriza-se pela descarga dos resíduos sólidos sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ambiental ou saúde pública, chamados “lixões”, não sendo passíveis de licenciamento (Fig. 2).

*Aterro controlado*: é uma técnica utilizada para confinar os resíduos sólidos urbanos sem poluir o ambiente externo; porém sem a implementação de elementos de proteção ambiental. Neste caso, deve ocorrer cobertura dos resíduos por um material inerte após cada jornada de trabalho e drenagem pluvial. O aterro controlado deve localizar-se como determina a Deliberação Normativa nº 118<sup>14</sup> do Conselho Estadual De Política Ambiental (Copam). Também não é licenciado (Fig. 3).

*Aterro sanitário*: é uma técnica de

disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, que visa minimizar os danos à saúde pública e os impactos sobre o meio ambiente. Esse método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área e reduzi-los ao menor volume possível, recobrando-os com uma camada de terra na conclusão de cada trabalho, ou intervalos menores, se necessário (Fig. 4). Este utiliza sistema de impermeabilização de base e laterais, recobrimento diário, coleta e drenagem de líquidos percolados, coleta e tratamento de gases, sistema de drenagem superficial e monitoramento. Sua localização também segue a DN 118<sup>14</sup>. O aterro sanitário é a forma mais adequada de disposição final de resíduos sólidos, segundo a Lei nº 12.305/2010<sup>2</sup>, e pode ser licenciado.

*Usinas de triagem e compostagem (UTC):* constituídas por uma unidade de triagem manual de recicláveis, pátio de compostagem, galpões de armazenamento e área de aterramento de rejeitos (Fig. 5).

Para que a UTC apresente bons resultados, é necessário que se tenha uma eficiente operação em todos os setores. As usinas implantadas em áreas apropriadas e licenciadas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente<sup>14</sup> de Minas Gerais dispõem de

um conjunto de estruturas físicas que se compõem de setores como:

- ➔ Galpão de recepção
- ➔ Triagem do lixo
- ➔ Galpão para armazenamento dos recicláveis
- ➔ Pátio de compostagem
- ➔ Armazenagem e qualidade do composto
- ➔ Valas de aterro de rejeitos
- ➔ Armazenagem e qualidade do composto

### **Danos e impactos ambientais causados pela disposição de resíduos sólidos**

Os líquidos percolados (chorume) e os gases produzidos nas áreas de disposição final do RSU representam os maiores problemas ambientais causados pela decomposição do lixo. Porém, outros danos podem ser destacados, tais como: poluição do solo e das águas superficiais; poluição de águas subterrâneas; poluição visual; odores desagradáveis; presença de animais, os quais representam vetores de doenças associadas; presença de catadores irregulares; intensa degradação da paisagem; instabilidade dos taludes e desvalorização imobiliária no entorno<sup>15</sup>.

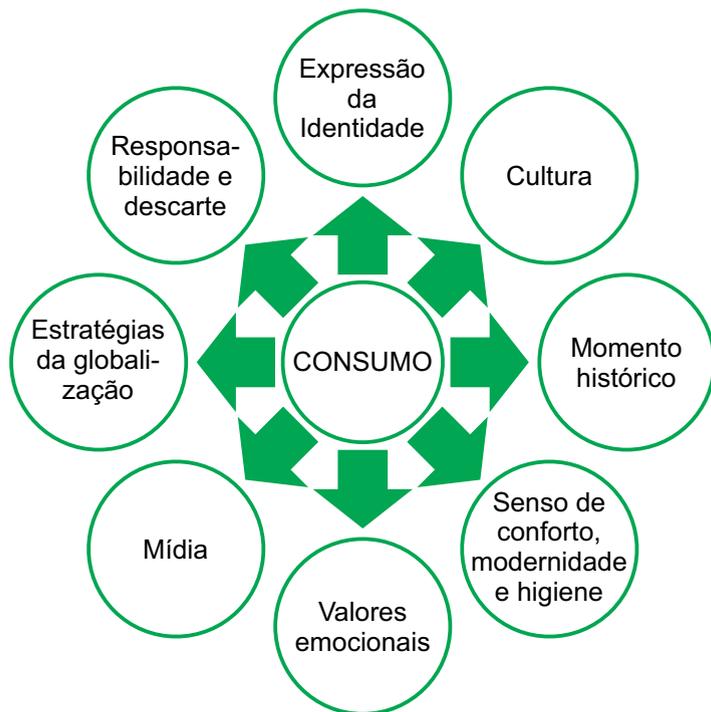
Em termos ambientais, os lixões agravam a poluição do ar, do solo e das águas, além de provocar poluição visual. Nos

*Os líquidos percolados (chorume) e os gases produzidos nas áreas de disposição final do RSU representam os maiores problemas ambientais causados pela decomposição do lixo.*

casos de disposição de pontos de lixo nas encostas, é possível ainda ocorrer a instabilidade dos taludes pela sobrecarga e absorção temporária da água da chuva, provocando deslizamentos.

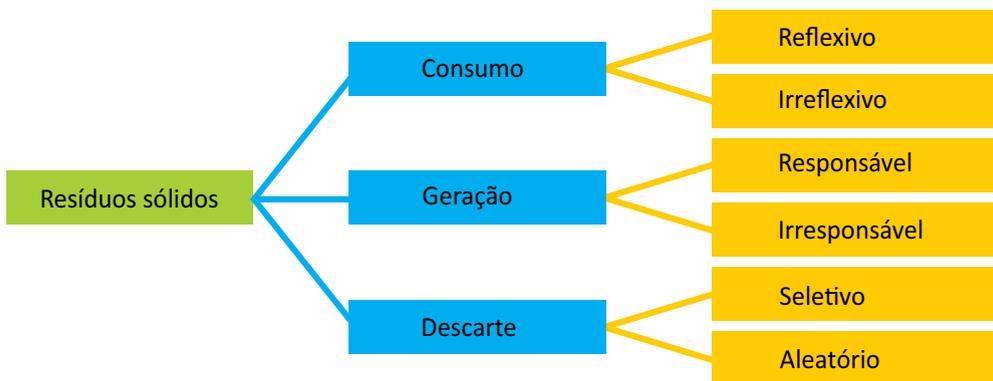
### Órgãos gestores associados aos resíduos sólidos

No âmbito federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), presidido pelo Ministério do Meio Ambiente, e dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. São responsabilidades



**Figura 7. Consumo e hábitos da sociedade e a geração de resíduos sólidos.**

do Conama, as resoluções quando se trata de deliberações vinculadas a diretrizes e normas técnicas, critérios e pa-



**Figura 8. Relação entre consumo e geração de resíduos sólidos.**

drões relativos à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos ambientais; moções relacionadas com a temática ambiental; recomendações acerca da implementação de políticas, programas públicos e normas relacionadas à proteção ambiental; proposições e decisões<sup>16</sup>.

Em Minas Gérias, vinculados à Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) e integrantes do Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam), os órgãos executivos, atuantes na tomada de ações para medidas adequadas do uso da água e do solo são: a Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), o Instituto Estadual de Florestas (IEF) e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam). O Igam, criado em 17 de julho de 1997, orienta e incentiva a criação dos comitês de bacias hidrográficas, entidades que, de forma descentralizada, integrada e participativa, gerenciam o desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica onde atuam<sup>17</sup>.

Por meio do programa Minas sem Lixões, a Feam promove uma das ações do Projeto Estruturador de Resíduos Sólidos do Governo de Minas, o qual tem como objetivo promover e fomentar a redução, o reaproveitamento, a reciclagem e a disposição adequada de resíduos sólidos em Minas Gerais<sup>11</sup>. Para isso, esse órgão atua mediante publicações de deliberações normativas, fiscalizações e orientações para o licenciamento.

## **Hábitos da sociedade e a geração de resíduos sólidos**

Os problemas ambientais não são apenas do entorno, mas sim problemas sociais, tanto por suas origens quanto por suas consequências. Aliado à geração e disposição final de resíduos sólidos está o ato de consumir.

Os atos de consumo são permeados por valores culturais e emocionais complexos. Dada a complexidade das sociedades contemporâneas, o consumo não se refere apenas ao resultado lógico da produção na cultura de consumo; há dimensões estéticas e até lúdicas, cuja relevância não pode ser subestimada. Nesse contexto, destaca-se a ação da mídia, responsável por adentrar o mundo do indivíduo, por meio de sentimentos de desejo em torno de produtos e serviços. Portanto, o consumo pode ser analisado como relação entre classes sociais, gêneros, raças, períodos históricos, entre outros<sup>18</sup>.

O consumo de produtos e serviços (Fig. 7) é definido por Logarezzi<sup>3</sup> como “o ato de adquirir e usar produtos e serviços no desenvolvimento de atividades humanas entendidas como necessárias, em determinado contexto cultural e em determinado momento. O provimento desses produtos e serviços envolve processos diversos que estão associados a impactos socioambientais, como a demanda por trabalho humano e exploração de recursos naturais (muitas vezes em interações insustentáveis); adicio-

nalmente, em muitas atividades, surgem sobras, chamadas resíduo.”

O nível de consumo deve ser relacionado não apenas às quantidades dos itens consumidos, mas também à diversidade e descartabilidade (Fig. 8). O consumo e a geração de resíduo (ato de gerar uma sobra) podem ocorrer de forma responsável, quando há preocupação do consumidor com a quantidade, a natureza, os processos e o contexto em que os resíduos são gerados, o que contribui para sua redução. Já o descarte pode ocorrer de forma aleatória, ou seja, desperdiçando suas potencialidades de reaproveitamento e contribuindo para destinação final inadequada. O descarte seletivo preserva as potencialidades de reaproveitamento e reciclagem dos resíduos, o que implica a separação deles pelo gerador<sup>3</sup>.

Quando as pessoas realizam o descarte seletivo<sup>3</sup>, contudo, em alguns casos, sentem-se autorizadas para um consumo irresponsável, ou seja, sem preocupação com a quantidade e a natureza dos produtos e serviços adquiridos. Nesse contexto é que muitas empresas têm estimulado o descarte seletivo. Essa situação pode ser evidenciada por da-

dos de evolução na produção e reciclagem de garrafas PET (politereftalato de etileno)<sup>19</sup>, resumidos na Tab. 3.

Pelos dados da Tab. 3, observa-se que, enquanto a reciclagem anual de garrafas PET representa cerca de 50% do total produzido em 2009, a produção de novas garrafas também representa a mesma porcentagem. Embora a reciclagem de garrafas PET tenha crescido 56% de 2004 a 2009, a produção de novas garrafas ainda cresceu 35%, refletindo, assim, no crescimento acelerado de extração de recursos naturais e consequente geração de resíduos. O ato da separação na fonte para reciclagem não deixa de ser uma ação positiva na redução dos resíduos, porém o foco dessas ações não pode continuar centrado no contexto em que o resíduo já foi gerado.

O estilo de vida das pessoas pode ser alterado a fim de incentivar a prática dos ciclos naturais, para que os materiais descartados sejam utilizados como recurso, e o lixo reduzido.

## Coleta seletiva

A coleta seletiva é a última alternativa que o consumidor tem para evitar danos ao meio ambiente pelo descarte de

**Tabela 3. Evolução da produção anual de novas garrafas PET no Brasil**

Ano	Produção anual total (ton)	Reciclagem anual (ton)	Produção de novas garrafas (ton)
2004	360	167	193
2009	522	262	260

Fonte: ABIPET<sup>20</sup> modificado.

resíduos sólidos. É importante ressaltar aqui que as responsabilidades dos consumidores compreendem:



Reciclagem é um conjunto de processos baseados em técnicas que têm por finalidade aproveitar os detritos e reutilizá-los no ciclo de produção do qual saíram. É o resultado de uma série de atividades, pela quais os materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos. Já a reutilização está relacionada ao ato de desviar o resíduo da disposição final sem submetê-lo aos processos do ciclo produtivo novamente.

Coleta seletiva é o processo de separação e recolhimento dos resíduos conforme sua constituição: orgânico, reciclável e rejei-

to. Consiste em separar o lixo em grupos distintos, cada um com tipos de lixo correspondente com sua classificação. Sem o processo da separação do lixo, não é possível fazer reciclagem, pois, nas usinas de tratamento e reciclagem, idealmente, o lixo já deve chegar o mais separado possível.

Nas cidades, a coleta seletiva é um instrumento concreto de incentivo à redução, à reutilização e à separação do material para a reciclagem, buscando uma mudança de comportamento, principalmente em relação aos desperdícios inerentes à sociedade de consumo.

Para se proceder à coleta seletiva, é essencial que o material seja separado e acondicionado; em um programa de coleta seletiva, o lixo é separado no próprio local onde é gerado, como resi-

*Reciclagem é um conjunto de processos baseados em técnicas que têm por finalidade aproveitar os detritos e reutilizá-los no ciclo de produção do qual saíram.*

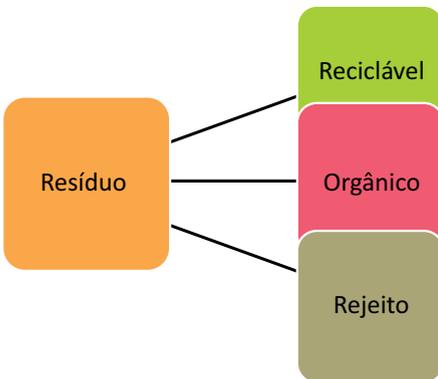
*Coleta seletiva é o processo de separação e recolhimento dos resíduos conforme sua constituição: orgânico, reciclável e rejeito.*

dências, fábricas, comércio ou outros estabelecimentos. O procedimento mais comum é separá-lo, inicialmente, em 3 (três) categorias:

1. *Reciclável ou reutilizável*: correspondente ao lixo que pode ser reciclado ou reutilizado. Como exemplos, citam-se embalagens plásticas, latas, papel, madeira, etc.
2. *Orgânico*: correspondente à parcela de resíduos constituída por matéria orgânica putrescível (que apodrece), isto é, são re-

síduos facilmente degradáveis pela ação de microrganismos. Podem ser citados como exemplos restos de alimentos, pó de café ou chá, verduras, frutas, folhas, palhas de cereais, podas de jardim, esterco animal, serragem, etc.

3. **Rejeito:** correspondente à parcela do lixo que, embora não seja orgânica, não pode ser reciclada. Alguns exemplos são o papel higiênico usado, as fraldas descartáveis, os absorventes higiênicos e algumas embalagens metalizadas.



## Vantagens e benefícios da reciclagem

As vantagens e os benefícios da reciclagem devem-se ao fato de ela estar inter-relacionada aos seguintes componentes:

- a) **sanitários:** contribuem decisivamente para a melhoria da saúde pública, basicamente evitando a transmissão de doenças por vetores;
- b) **ambientais:** diminuem a poluição do ambiente (água, ar e solo), aumen-

tam a vida útil dos aterros sanitários, diminuem a exploração de recursos naturais, reduzem o consumo de energia e constituem um grande passo para a conscientização de inúmeros outros problemas ecológicos;

- c) **econômicos:** contribuem para a economia de recursos naturais (extração), diminuem os gastos com tratamento de doenças, controle da poluição ambiental, remediação de áreas degradadas e uso de espaços de reserva, promovem valorização, venda e processamento industrial de produtos descartados, reduzem os gastos com a limpeza urbana, geram empregos e estimulam a concorrência, uma vez que produtos fabricados a partir dos recicláveis são comercializados em paralelo àqueles feitos com matéria-prima virgem, melhoram a produção de compostos orgânicos, a partir da reciclagem de resíduos orgânicos (compostagem), e, ainda, o município se beneficia com o ICMS Ecológico;
- d) **sociais:** geram empregos diretos, possibilitam a união e a organização da força trabalhista em cooperativas de reciclagem e incentivam a mobilização comunitária para o exercício da cidadania, em busca de solução de seus próprios problemas;
- e) **educacionais:** possibilitam que as atividades de reciclagem, além de unidades de tratamento do lixo, funcionem como grande laboratório de ciências

para que professores e alunos tenham aulas práticas e discorram sobre as várias áreas e atividades relacionadas com a reciclagem do lixo urbano, e, ainda, promovem a mobilização e a participação comunitária.

## Referências

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. *Resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.
2. BRASIL, Lei Federal Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em março de 2013.
3. LOGAREZZI, A. *Educação ambiental em resíduo: o foco da abordagem*. In: CINQUETTI, H.C.S.; LOGAREZZI, A. (Org.). *Consumo e resíduo: fundamentos para o trabalho educativo*. EdUFSCar. São Carlos. 2006. p. 119-144.
4. CASTILHO JÚNIOR, A.B. *Resíduos sólidos urbanos: aterros sustentáveis para município de pequeno porte*. Rio de Janeiro. ABES. RiMa. 2003. 294 p.
5. GÓMEZ, G. et al. Seasonal characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico. *Waste Management & Research*, n. 29, p. 2018-2024, 2009.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard D 792 2003: standard test method for determination of the composition of unprocessed municipal solid waste. Filadélfia, 2003.
7. EUROPEAN RECOVERY & RECYCLING ASSOCIATION. *Waste analysis procedure: reference multimaterial recovery*, S.I, 1993.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. 2011. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2011.pdf>. Acesso em março de 2013
9. PEÑIDO MONTEIRO, J.H.; H. ZVEIBIL, V. Z. (Coord). *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. IBAM. Rio de Janeiro. 2001. 200 p.
10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. 2010. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao-devida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao-devida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf). Acesso em março de 2013.
11. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. *Situação do tratamento e/ou disposição final dos resíduos sólidos urbanos de Minas Gerais*. 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/minas-sem-lixoes>. Acesso em março de 2013.
12. LIMA, J. D. *Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil*. ABES. Campina Grande. 2004. 267 p.
13. BRASIL. Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm). Acesso em março. 2013.
14. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Estado de Minas Gerais. Deliberação Normativa nº 118, de 27 de junho de 2008. Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa nº 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado e dá outras providências. Disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7976>. Acesso em março de 2013.
15. LANZA, V. C. V. *Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos*. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte. 2009. 28 p.
16. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE Conama. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>. Acesso em março de 2013.
17. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Igam. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/instituicao>. Acesso em março de 2013.
18. FURNIVAL, A. C. *Dimensões culturais do consumo: reflexões para pensar o consumo sustentável*. In: CINQUETTI, H. C. S.; LOGAREZZI, A. (Org.). *Consumo e resíduo: fundamentos para o trabalho educativo*. : EdUFSCar. São Carlos 2006. p. 61 - 84.
19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE PET. *Indústria do Pet no Brasil*. 2011. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/UserFiles/File/Site%201.pdf>. Acesso em: março de 2013.



# Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde

Luciano dos Santos Rodrigues<sup>1\*</sup>

Israel José da Silva<sup>1</sup> CRMV 1033

Anna Carolina Ferreira Spelta<sup>1\*\*</sup>

Bruna Coelho Lopes<sup>1</sup> CRMV 11308

<sup>1</sup>Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais

\* Autor para correspondência: lsantosrodrigues@gmail.com

\*\* Estudante de biologia

bigstockphoto.com

## Introdução

O gerenciamento correto dos resíduos gerados em estabelecimentos prestadores de serviços de saúde é importante para garantir a qualidade da saúde coletiva e a preservação do meio ambiente<sup>1</sup>.

Os regulamentos sobre o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde são determinados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária<sup>2</sup> (Anvisa), por meio da

*O gerenciamento correto dos resíduos gerados em estabelecimentos prestadores de serviços de saúde é importante para garantir a qualidade da saúde coletiva e a preservação do meio ambiente.*

Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 306/04<sup>3</sup>, da Resolução nº 358/2005<sup>4</sup> do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) e, no âmbito do Estado de Minas Gerais, pela Deliberação Normativa nº 97/2006<sup>5</sup> do Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam).

O objetivo deste artigo é apresentar as orientações técnicas básicas para o gerenciamento de resí-

duos gerados em estabelecimentos de saúde humana e animal.

## Definição

Os resíduos sólidos de serviços de saúde (RSSS) gerados nos centros urbanos e na área rural, apesar de baixa representatividade, aproximadamente 2%, perante a produção total dos resíduos sólidos urbanos (RSU), constituem um dos sérios problemas a ser gerenciado pelas empresas prestadoras de serviços na área da saúde (Spina, 2005), principalmente pelo potencial de risco que representam à saúde e ao meio ambiente<sup>6</sup>.

De acordo com a RDC Anvisa nº 306/04<sup>3</sup> e a Resolução Conama nº 358/2005<sup>4</sup>, são definidos como geradores de RSSS todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para a saúde; necrotérios, funerárias e serviços que realizem atividades de embalsamamento, serviços de medicina legal, drogarias e farmácias, inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área da saúde, centro de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos, importadores, distribui-

dores e produtores de materiais e controles para diagnóstico *in vitro*, unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura, serviços de tatuagem, entre outros similares.

É de responsabilidade dos dirigentes dos estabelecimentos elaborarem, desenvolverem, submeterem às autoridades competentes e implantarem o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS), que deve contemplar, entre outros fatores, as medidas preventivas e corretivas de controle integrado de insetos e roedores e as rotinas de higiene e limpeza de superfícies; além disso, os fabricantes e representantes legais de medicamentos passíveis de gerar resíduos de saúde são responsáveis pelo tratamento e pela disposição final dos resíduos gerados na área de fabricação, distribuição e utilização<sup>7</sup>.

*É de responsabilidade dos dirigentes dos estabelecimentos elaborarem, desenvolverem, submeterem às autoridades competentes e implantarem o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS).*

## Classificação

Com o intuito de conhecer as especificações do resíduo e, conseqüentemente, destiná-lo corretamente, os RSS são classificados de acordo com suas características e riscos que podem acarretar ao meio ambiente e à saúde<sup>3,4</sup>. Os RSS são classificados em cinco grupos: A, B, C, D e E.

1. Grupo A: engloba os componentes com possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção. Exemplos: placas e lâminas de laboratório, carcaças, peças anatômicas (membros), tecidos, bolsas transfusionais contendo sangue, entre outros.
2. Grupo B: contém substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Exemplos: medicamentos apreendidos, reagentes de laboratório, resíduos contendo metais pesados, entre outros.
3. Grupo C: quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), como, por exemplo, serviços de medicina nuclear e de radioterapia etc.
4. Grupo D: não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente; podem ser equiparados aos resíduos domiciliares. Exemplos: sobras de alimentos e do preparo de alimentos, resíduos das áreas administrativas etc.
5. Grupo E: materiais perfurocortan-

tes ou escarificantes, tais como lâminas de barbear, agulhas, ampolas de vidro, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, espátulas e outros similares.

A correta segregação desses resíduos, ou seja, a separação ou seleção apropriada segundo a classificação adotada torna-se indispensável para separar os materiais infectantes e diminuir a quantidade de resíduos que necessitam de tratamento especial, além de evitar acidentes ocupacionais. Segundo a Anvisa<sup>2</sup>, sem uma segregação adequada, cerca de 70 a 80% dos resíduos gerados em serviços de saúde que não apresentam risco acabam potencialmente contaminados. Dessa forma, o objetivo principal da segregação não é reduzir a quantidade de resíduos infectantes a qualquer custo, mas, acima de tudo, criar uma cultura organizacional de segurança e de não desperdício<sup>8</sup>. Entretanto, essa prática envolve mudanças de hábitos das pessoas, relacionadas com a geração dos resíduos, sendo necessária a realização de treinamentos e capacitações de pessoal que propiciem condições para que os profissionais saibam com clareza suas responsabilidades, em relação ao meio ambiente, dentro e fora da unidade de saúde, e seu papel de cidadãos<sup>2</sup>.

A separação dos RSS, quando é rotina no estabelecimento de saúde, envolve distintas rotas para os diferentes tipos de resíduos, de acordo com suas origens. Assim, resíduos infectantes de-

veriam ser pré-acondicionados para a disposição em aterros sanitários, peças anatômicas deveriam ser sepultadas, resíduos dos serviços de radiologia, gerenciados pelo CNEN (Conselho Nacional de Energia Nuclear), e os resíduos recicláveis deveriam ser destinados aos galpões de separação para posterior venda<sup>9</sup>.

Após a separação dos materiais, eles devem ser acondicionados corretamente de acordo com sua classificação, sendo embalados em sacos ou recipientes, de forma que a capacidade dos recipientes de acondicionamento comporte a geração diária de cada tipo de resíduo. Normalmente, utilizam-se sacos plásticos para os resíduos sólidos infectantes (Fig. 1a) e recipientes rígidos, conhecidos como coletores, para

*Após a separação dos materiais, eles devem ser acondicionados corretamente de acordo com sua classificação, sendo embalados em sacos ou recipientes, de forma que a capacidade dos recipientes de acondicionamento comporte a geração diária de cada tipo de resíduo.*

os materiais perfurocortantes<sup>2</sup> (Fig. 1b).

Os sacos devem ser constituídos de material resistente a ruptura e vazamento, impermeável, respeitando-se os limites de peso de cada saco, sendo proibido o seu esvaziamento ou reaproveitamento. Esses sacos devem estar contidos em recipientes de material lavável, resistente a punctura, ruptura e vazamento, com tampa provida de sistema de abertura sem contato

manual, com cantos arredondados, e ser resistentes ao tombamento; no caso de recipientes de acondicionamento existentes nas salas de cirurgia e nas salas de parto, estes não necessitam de tampa para vedação, de forma que os resíduos devem ser recolhidos imediatamente após o término dos procedimentos<sup>2</sup>.



**Figura 1a.** Recipiente de acondicionamento de resíduos infectantes.



**Figura 1b.** Recipiente de acondicionamento de material perfurocortante.

Símbolo de segurança e nome	Característica	Identificação	Onde usar
 <b>RESÍDUO INFECTANTE</b>	Indica a possível presença de agentes biológicos	Rótulo de fundo branco, desenho e contornos pretos, contendo o símbolo e a inscrição de RESÍDUO INFECTANTE	Receptíveis de acondicionamento (sacos plásticos, caixas de materiais perfurantes e cortantes, etc.), carro de coleta interna, contêineres e na porta do abrigo de resíduos dos grupos A e E
<p>O pictograma depende do tipo de periculosidade: corrosividade, reatividade, toxicidade e inflamabilidade.</p> 	Indica a periculosidade do resíduo químico	Rótulo com desenho e contornos pretos, contendo o símbolo que caracteriza a periculosidade do resíduo químico	Identificar os receptíveis de acondicionamento (sacos plásticos, caixas, etc.), carro de coleta interna, contêineres e abrigo de resíduos químicos. Usar rótulo de acordo com o risco, preconizado na NBR 7500/2003 da ABNT, e a inscrição de RESÍDUO QUÍMICO
 <b>REJEITO RADIOATIVO</b>	Indica a presença de radiação ionizante	Rótulo amarelo com o símbolo internacional de presença de radiação ionizante-trifólio de cor púrpura em fundo amarelo e a inscrição REJEITO RADIOATIVO	Receptíveis de acondicionamento (sacos plásticos, caixas, frascos, etc.), carro de coleta interna e os locais de armazenamento para decaimento
A cor do pictograma depende do tipo de material reciclável	Indica o tipo de material reciclável	Rótulos com fundo de cores específicas, de acordo com o tipo do material reciclável: Papel: azul Plástico: vermelho Vidro: verde Metal: amarelo Orgânico: marrom Madeira: preto Rejeito: cinza para o resíduo que não tem mais utilidade	Recipientes de acondicionamento, contêineres, carro de coleta interna e os locais de armazenamento de recicláveis
 <b>RESÍDUO PERFUROCORTANTE</b>	Indica a presença de materiais perfurantes, cortantes ou abrasivos, que podem abrir porta de entrada para agentes de risco	Rótulo de fundo branco, desenho e contornos pretos, contendo o símbolo de resíduo infectante e a inscrição RESÍDUO PERFUROCORTANTE	Recipientes de acondicionamento de materiais perfurantes, cortantes e abrasivos; carro de coleta interna; contêineres e na porta do abrigo de resíduos dos grupos E, se estes forem exclusivos

**Figura 2.** Esquema de classificação dos resíduos por meio de cores (branco para os infectantes, preto para os comuns e verde para os recicláveis), símbolos e indicações visíveis sobre o seu tipo e risco.

Os coletores de perfurocortantes (PC) também devem ser resistentes, estáveis e de tamanho pequeno, sendo o papelão ou o metal os materiais mais utilizados para essas embalagens<sup>10</sup>. Os recipientes que acondicionam os PC devem ser descartados quando o preenchimento atingir 2/3 de sua capacidade ou o nível de preenchimento ficar a 5 cm de distância da boca do recipiente, sendo proibido o seu esvaziamento ou reaproveitamento. No caso de rejeitos radioativos, estes devem ser colocados em recipientes de chumbo, com blindagem adequada ao tipo e ao nível de radiação emitida, e ter a simbologia específica<sup>2</sup>.

O acondicionamento deve observar as exigências de compatibilidade química dos componentes entre si, assim como de cada resíduo com os materiais das embalagens, de modo a evitar reação química entre eles, tanto quanto o enfraquecimento ou a deterioração de tal embalagem, ou a possibilidade de que seu material seja permeável aos componentes do resíduo<sup>2</sup>. As classes dos resíduos são identificadas por meio de cores (branco para os infectantes, preto para os comuns e verde para os recicláveis), símbolos e indicações visíveis sobre o seu tipo e risco (Fig. 2).

Posteriormente, os rejeitos devem

ser coletados (transporte interno) para armazenagem temporária ou externa ao local de geração do resíduo. O local de armazenagem externa deve consistir em local apropriado, de fácil acesso para o transporte externo encaminhar os resíduos ao local de tratamento, reciclagem e disposição final. A armazenagem temporária pode ser dispensada dependendo da distância entre o local de geração e o de armazenagem externa.

*O local de armazenagem externa deve consistir em local apropriado, de fácil acesso para o transporte externo encaminhar os resíduos ao local de tratamento, reciclagem e disposição final.*

A coleta e o transporte devem atender ao roteiro previamente definido e devem ser feitos em horários, sempre que possível, não coincidentes com a distribuição de roupas, alimentos e medicamentos, períodos de visita ou de maior fluxo de pessoas ou de atividades. A coleta

deve ser feita separadamente, de acordo com o grupo de resíduos e em recipientes específicos a cada grupo de resíduos<sup>2</sup>. O transporte interno deve ser feito em carros de coleta, constituídos de material rígido, lavável, impermeável e providos de tampa articulada ao próprio corpo do equipamento, cantos e bordas arredondados, rodas revestidas de material que reduza o ruído e identificação com o símbolo correspondente ao risco do resíduo neles contido; além disso, o transporte interno dos recipientes deve ser realizado sem esforço excessivo ou

risco de acidente para o funcionário<sup>2</sup>.

Segundo a Anvisa<sup>2</sup>, a armazenagem temporária, obrigatoriamente, deve:

- conter recipientes para acondicionamento dos sacos contendo os resíduos, de forma que os sacos não tenham contato direto com o chão;
- ter pisos e paredes lisas e laváveis, sendo o piso, além disso, resistente ao tráfego dos carros coletores;
- possuir iluminação artificial e área suficiente para armazenar, no mínimo, dois recipientes coletores, para o posterior traslado até a área de armazenamento externo;
- ser identificado como sala de resíduo, se a sala for exclusiva para armazenagem. A quantidade de salas de resíduos será definida em função do porte, da quantidade de resíduos, da distância entre pontos de geração e do *layout* do estabelecimento;

Obs.: Recomenda-se a existência de ponto de água e ralo sifonado com tampa escamoteável.

Os resíduos de fácil putrefação devem ser conservados sob refrigeração e, quando não for possível, submetidos a outro método de conservação.

## **Armazenamento externo**

A armazenagem externa segue as mesmas recomendações anteriores, porém deve ser um local exclusivo para o armazenamento de resíduos, além de reunir condições físicas estruturais adequadas, impedindo a ação do sol, chu-

va, ventos etc., bem como o acesso de pessoas não autorizadas ou animais ao local. A capacidade do abrigo deve ser compatível com a periodicidade de coleta do sistema de limpeza urbana local. Deve possuir, no mínimo, um ambiente separado para atender o armazenamento de recipientes de resíduos do grupo A juntamente com o grupo E e um ambiente para o grupo D<sup>2</sup>.

O abrigo de resíduos dos grupos A, D e E (Fig. 3) deve:

- ser construído em alvenaria, fechado, dotado apenas de aberturas para ventilação, teladas, que possibilitem uma área mínima de ventilação correspondente a 1/20 da área do piso e não inferior a 0,20 m<sup>2</sup>;
- ser revestido internamente (piso e paredes) com material liso, lavável, impermeável, resistente ao tráfego e ao impacto;
- ter porta provida de tela de proteção contra roedores e vetores, de largura compatível com as dimensões dos recipientes de coleta externa;
- possuir símbolo de identificação, em local de fácil visualização, de acordo com a natureza do resíduo;
- possuir área específica de higienização para limpeza e desinfecção simultânea dos recipientes coletores e demais equipamentos utilizados no manejo de RSS. A área deve possuir cobertura, dimensões compatíveis com os equipamentos que serão submetidos à limpeza e à higienização.



**Figura 3.** Ilustração de um abrigo de resíduos dos grupos A, D e E

O abrigo de resíduos do grupo B (Fig. 4) deve ser projetado, construído e operado de modo a:

- ser em alvenaria, fechado, dotado apenas de aberturas teladas que possibilitem uma área de ventilação adequada;
- ser revestido internamente (piso e parede) com material de acabamento liso, resistente ao tráfego e impacto, lavável e impermeável;
- ter porta dotada de proteção inferior, impedindo o acesso de vetores e roedores;
- ter piso com caimento na direção das canaletas ou dos ralos;
- estar identificado, em local de fácil visualização, com sinalização de segurança – com as palavras: RESÍDUOS QUÍMICOS – com símbolo;
- prever a blindagem dos pontos internos de energia elétrica, quando houver armazenamento de resíduos inflamáveis;
- ter dispositivo de forma a evitar inci-

dência direta de luz solar;

- ter sistema de combate a incêndio por meio de extintores de CO<sub>2</sub> e PQS (pó químico seco);
- ter kit de emergência para os casos de derramamento ou vazamento, incluindo produtos absorventes;
- armazenar os resíduos constituídos de produtos perigosos corrosivos e inflamáveis próximos ao piso;
- observar as medidas de segurança recomendadas para produtos químicos que podem formar peróxidos;
- não receber nem armazenar resíduos sem identificação;
- organizar o armazenamento de acordo com critérios de compatibilidade, segregando os resíduos em bandejas;
- manter registro dos resíduos recebidos.

## Transporte externo

O transporte externo consiste no recolhimento, por veículos coletores,

dos resíduos armazenados nas unidades para serem transportados para tratamento ou disposição final<sup>11</sup>, mantendo-se as condições de acondicionamento, além de seguir as regulamentações dos órgãos de limpeza. Os veículos podem ser de pequeno até grande porte, dependendo das definições técnicas dos sistemas municipais<sup>2</sup>. Os responsáveis pelo transporte externo, assim como os demais funcionários responsáveis pela coleta interna, devem utilizar EPI (Equipamento de Proteção Individual) e EPC (Equipamento de Proteção Coletivo) adequados. Esse serviço de coleta pode ser terceirizado ou realizado pelo próprio sistema de limpeza do município, que devem seguir algumas recomendações de acordo com a classe do resíduo<sup>2</sup>.

Para a coleta de RSS do grupo A, o veículo deve apresentar os seguintes requisitos:

- ter superfícies internas lisas, de cantos arredondados e de forma a facilitar a higienização;
- não permitir vazamentos de líquidos e ser provido de ventilação adequada;
- sempre que a forma de carregamento for manual, a altura de carga deve ser inferior a 1,20 m;
- quando possuir sistema de carga e descarga, este deve operar de forma a não permitir o rompimento dos recipientes;
- quando forem utilizados contenedores, o veículo deve ser dotado de equipamento hidráulico de basculamento;
- para veículo com capacidade superior a 1 tonelada, a descarga pode ser



**Figura 4.** Ilustração de um abrigo de resíduos do grupo B

mecânica; para veículo com capacidade inferior a 1 tonelada, a descarga pode ser mecânica ou manual;

- o veículo coletor deve contar com os seguintes equipamentos auxiliares: pá, rodo, saco plástico de reserva, solução desinfetante;
- devem constar em local visível o nome da municipalidade, o nome da empresa coletora (endereço e telefone), a especificação dos resíduos transportáveis, com o número ou código estabelecido na NBR 10004, e o número do veículo coletor com sinalização externa;
- exibir a simbologia para o transporte rodoviário;
- ter documentação que identifique a conformidade para a execução da coleta, pelo órgão competente.

Para a coleta de RSS do grupo B, resíduos químicos perigosos, o veículo deve atender aos seguintes requisitos:

- observar o Decreto Federal nº 96.044, de 18 de maio de 1988, e a Portaria Federal nº 204, de 20 de maio de 1997;
- portar documentos de inspeção e capacitação, em validade, atestando a

*Entende-se por tratamento dos resíduos sólidos, de forma genérica, quaisquer processos manuais, mecânicos, físicos, químicos ou biológicos que alterem as características dos resíduos, visando à minimização do risco à saúde, à preservação da qualidade do meio ambiente, à segurança e à saúde*

sua adequação, emitidos pelo Instituto de Pesos e Medidas ou entidade por ele credenciada.

## Tratamento

O tratamento do resíduo pode ser realizado no próprio local de geração ou em outro local. Entende-se por tratamento dos resíduos sólidos, de forma genérica, quaisquer processos manuais, mecânicos, físicos, químicos ou biológicos que alterem as características dos resíduos, visando à minimização do risco à saúde, à

preservação da qualidade do meio ambiente, à segurança e à saúde<sup>2</sup>. No Brasil, as principais formas de tratamento são a esterilização (autoclaves, micro-ondas e radiofrequência) ou incineração<sup>10</sup>. A autoclavagem é um tratamento que consiste em manter o material contaminado em contato com vapor de água, a uma temperatura elevada, durante período de tempo suficiente para destruir potenciais agentes patogênicos ou reduzi-los a um nível que não constitua risco. O processo de autoclavagem inclui ciclos de compressão e de descompressão, de forma a facilitar o contato entre o vapor e os resíduos. Os valores usuais de pressão são da ordem de 3 a 3,5 bar e a temperatura atinge 135°C. Esse proces-

so tem a vantagem de ser familiar aos técnicos de saúde, que o utilizam para processar diversos tipos de materiais hospitalares.

O processo normal de autoclavagem comporta basicamente as seguintes operações:

- pré-vácuo inicial: criam-se condições de pressões negativas, de forma a que, na fase seguinte, o vapor entre em contato com os resíduos;
- admissão de vapor: introdução de vapor na autoclave e aumento gradual da pressão, de forma a criar condições para o contato entre o vapor e os resíduos e para destruição de invólucros que limitem o acesso do vapor a todas as superfícies;
- exposição: manutenção de temperaturas e pressões elevadas durante um determinado período de tempo até se concluir o processo de descontaminação;
- de acordo com a carga a tratar, o operador define o tempo e a temperatura de cada ciclo;
- exaustão lenta: libertação gradual do vapor que passa por um filtro poroso com uma malha suficientemente fina para impedir a passagem de microrganismos para o exterior da autoclave.

*Os efluentes líquidos gerados pelo sistema de autoclavagem devem ser tratados, se necessário, e atender aos limites de emissão dos poluentes estabelecidos na legislação ambiental vigente, antes de seu lançamento em corpos d'água ou rede de esgoto.*

Diminuição gradual da pressão até a pressão de 1 atmosfera;

- arrefecimento da carga: redução da carga até uma temperatura que permita a retirada dos resíduos da autoclave.

Os efluentes líquidos gerados pelo sistema de autoclavagem devem ser tratados, se necessário, e atender aos limites de emissão dos poluentes estabelecidos na legislação

ambiental vigente, antes de seu lançamento em corpos d'água ou rede de esgoto.

O tratamento com micro-ondas é uma tecnologia relativamente recente de tratamento de resíduo de serviços de saúde e consiste na descontaminação dos resíduos com emissão de ondas de alta ou de baixa frequência, a uma temperatura elevada (entre 95 e 105°C). Os resíduos devem ser submetidos previamente a processo de trituração e umidificação.

A incineração é um processo de tratamento de resíduos sólidos que se define como a reação química em que os materiais orgânicos combustíveis são gaseificados, num período de tempo pré-fixado. O processo se dá pela oxidação dos resíduos com a ajuda do oxigênio contido no ar.

A incineração dos resíduos é um processo físico-químico de oxidação a temperaturas elevadas, o qual resulta na transformação de materiais com redução de volume dos resíduos, destruição de matéria orgânica, em especial de organismos patogênicos. A concepção de incineração em dois estágios segue os seguintes princípios: temperatura, tempo de resistência e turbulência. No primeiro estágio, os resíduos na câmara de incineração de resíduos são submetidos à temperatura mínima de 800°C, resultando na formação de gases, que são processados na câmara de combustão. No segundo estágio, as temperaturas chegam a 1000°C-1200°C.

Após a incineração dos RSS, os poluentes gasosos gerados devem ser processados em equipamento de controle de poluição (ECP) antes de serem liberados para a atmosfera, atendendo aos limites de emissão estabelecidos pelo órgão de meio ambiente. Entre os poluentes produzidos destacam-se ácido clorídrico, ácido fluorídrico, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, metais pesados, particulados, dioxinas e furanos.

Além dos efluentes gasosos gerados no sistema de incineração, ocorre a geração de cinzas e escórias da câmara de incineração de resíduos e de outros poluentes sólidos do ECP, bem como efluentes líquidos gerados da atividade

*A disposição final implica a deposição definitiva dos resíduos no solo ou em locais adequados.*

desse sistema de tratamento. As cinzas e as escórias, em geral, contêm metais pesados em alta concentração e não podem, por isso, ir para aterros sanitários, sendo necessário um

aterro especial para resíduos perigosos. Os efluentes líquidos gerados pelo sistema de incineração devem atender aos limites de emissão de poluentes estabelecidos na legislação ambiental vigente.

Não há consenso sobre quais métodos devem ser utilizados, já que a melhor solução deverá ser resultante da combinação entre variáveis locais, como condições geográficas e infraestrutura, combinadas com a disponibilidade de recursos e a quantidade de resíduos<sup>11</sup>.

## Disposição final

A disposição final implica a deposição definitiva dos resíduos no solo ou em locais adequados. O aterramento em solo, em local licenciado (aterro sanitário), dos subgrupos A1 e A2, após tratamento prévio, e do subgrupo A4 (sem exigência de tratamento) é técnica reconhecida e permitida atualmente no Brasil (Resolução nº 358/2005 do Conama<sup>3</sup> e Portaria da Fundação Estadual do Meio Ambiente - Feam nº 361/2008), além de ser economicamente mais compatível com a realidade econômica do Brasil<sup>1</sup>.

Para municípios ou associações de

municípios com população urbana de até 30.000 habitantes que não dispõem de aterro sanitário licenciado, a Resolução Conama nº 358/2005<sup>3</sup> admite, de forma excepcional e com a devida aprovação do órgão ambiental, a disposição final em solo, desde que a alternativa obedeça aos seguintes critérios:

- a) quanto à seleção de área, não possuir restrições quanto ao zoneamento ambiental (afastamento de unidades de conservação ou áreas correlatas) e respeitar as distâncias mínimas estabelecidas pelos órgãos ambientais competentes de ecossistemas frágeis, recursos hídricos superficiais e subterrâneos;
- b) quanto à segurança e sinalização, ter sistema de controle de acesso de veículos, pessoas não autorizadas e animais, sob vigilância contínua e sinalização de advertência com informes educativos quando aos perigos envolvidos;
- c) quanto aos aspectos técnicos, ter sistemas de drenagem de águas pluviais; coleta e disposição adequada dos percolados; coleta de gases; impermeabilização da base e taludes e monitoramento ambiental;
- d) quanto ao processo de disposição final de resíduos de serviços de saúde, ter disposição dos resíduos diretamente sobre o fundo do local; acomodação dos resíduos sem compactação direta; cobertura diária com solo, admitindo-se disposição em

canaletas; cobertura final e plano de encerramento.

Para os resíduos da classe B (químicos), o apropriado é o aterro industrial classe I ou II, em função da classificação do resíduo pela Norma Brasileira nº 10.004 da ABNT. Deve ser construído segundo padrões rígidos de engenharia, de forma a não causar danos ao meio ambiente e à saúde pública.

É preciso lembrar que todas as etapas envolvidas no gerenciamento correto de resíduos são importantes e dependentes, ou seja, interferem no bom desempenho das outras etapas envolvidas. Dessa forma, as políticas de gerenciamento de RSS devem ter uma visão geral acerca do problema e, assim, possibilitar os devidos procedimentos sobre a segregação, o acondicionamento, a coleta, o armazenamento, o transporte, o tratamento e a destinação final.

## Referências

1. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Feam. *Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde*. Feam. Belo Horizonte.. 2008.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Anvisa. *Manual de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde*. Ministério da Saúde. Brasília. 2006. Disponível em [http://bvs-ms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_gerenciamento\\_residuos.pdf](http://bvs-ms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_gerenciamento_residuos.pdf). Acesso em março de 2013.
3. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Anvisa. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004, que dispõe sobre o Regulamento

- Técnico para o Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde. Disponível em [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/ebe-26a00474597429fb5df3fbc4c6735/RDC\\_306.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/ebe-26a00474597429fb5df3fbc4c6735/RDC_306.pdf?MOD=AJPERES). Acesso em março de 2013.
4. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Conama. Resolução Nº 358, de 29 de abril de 2005, que dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>. Acesso em março de 2013.
  5. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Copam. Deliberação Normativa Copam nº 97, de 12 de abril de 2006, que estabelece diretrizes para a disposição final adequada dos resíduos dos estabelecimentos dos serviços de saúde no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em <http://www.inteligencia-ambiental.com.br/sila/pdf/edelcopammg97-06.pdf>. Acesso em março de 2013.
  6. SPINA, M.I.A.P. *Características do gerenciamento dos resíduos sólidos dos serviços de saúde em Curitiba e análise das implicações socioambientais decorrentes dos métodos de tratamento e destino final*. Ed. UFPR.. Curitiba. n. 9, p. 95-106, , 2005.
  7. CAMARGO, M. E.; MOTTA, M. E. V.; LUNELLI, M. O.; SEVERO, E. A. Resíduos sólidos de serviço de saúde: um estudo sobre o gerenciamento. *Scientia Plena*, v. 5, n.7, 14p., 2009.
  8. BARROS JÚNIOR, C. DE.; AMANTHEA, E.; LAZARIN, F. B.; XAVIER, G. A.; TSUJIOKA, R. Y. D.; BELLI, R.; RODRIGUES, R.; DAMASCENO, J. W. Geração e caracterização dos resíduos sólidos de serviços de saúde em laboratório de análises clínicas de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Sci. Technol.*, v. 29, n. 1, p. 17-21, 2007.
  9. BIDONE, F. A. *Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização*. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Porto Alegre. 2001.
  10. OLIVEIRA, J. M. *Análise do gerenciamento de resíduos de serviços de saúde nos hospitais de Porto Alegre*. Dissertação. (Mestrado). Escola de Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.
  11. NAIME, R.; SARTOR, I.; GARCIA, A.C. Uma abordagem sobre a gestão de resíduos de serviços de saúde. *Revista Espaço para a Saúde*, v. 5, n. 2, p. 17-27, 2004.

# Gerenciamento de resíduos sólidos agrossilvopastoris e agroindustriais

Luciano dos Santos Rodrigues<sup>1\*</sup>

Israel José da Silva<sup>1</sup> - CRMV 1033

Bruna Coelho Lopes<sup>1</sup> - CRMV 11308

Anna Carolina Ferreira Spelta<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais

\* Autor para correspondência: lsantosrodrigues@gmail.com

\*\* Estudante de biologia

bigstockphoto.com

## Introdução

A poluição ambiental causada pela atividade animal representa uma ameaça à saúde humana e de animais. Segundo o IBGE<sup>1</sup>, o ano de 2010 apresentou crescimento do setor agrossilvopastoril de 3,9%, liderando em relação aos demais setores. Esse aumento foi devido ao crescimento da agropecuária

e à elevação da produção de diferentes culturas, além do ganho de produtividade. Aliado a esta nova realidade está o aumento da produção de resíduos, tanto orgânicos como inorgânicos, que necessitam de manejo, tratamento e disposição adequados, já que essas atividades dependem prioritariamente de recursos naturais para existirem.

Os resíduos gerados nas atividades agrossilvopastoris podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos. Os resíduos orgânicos são aqueles gerados nos setores de agricultura e agropecuária como os rejeitos das culturas (café, cacau, banana, soja, milho, etc.), dejetos gerados nas criações animais e os efluentes e resíduos produzidos nas agroindústrias, como

*Os resíduos gerados nas atividades agrossilvopastoris podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos. Resíduos orgânicos: rejeitos das culturas, dejetos gerados nas criações animais e os efluentes e resíduos produzidos nas agroindústrias, como abatedouros, laticínios e graxarias.*

abatedouros, laticínios e graxarias. O tratamento de efluentes e de resíduos orgânicos já se encontra bem estabelecido no âmbito tecnológico, entretanto o mesmo fato não ocorre com os resíduos inorgânicos produzidos neste setor. Os resíduos sólidos inorgânicos gerados no setor agrossilvopastoril abrangem as embalagens produzidas nos segmentos de agrotóxicos, fertilizantes e insumos farmacêuticos veterinários, além dos resíduos sólidos domésticos da área rural.

A Lei nº 12.305/2010<sup>2</sup> instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que obriga os municípios a criarem planos de gerenciamento desses resíduos em suas regiões, sendo que a prioridade é a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos

sólidos e a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos. No entanto, ainda há uma confusão sobre as formas de classificação dos resíduos gerados pela atuação veterinária em áreas rurais, pois estes não podem ser classificados com o rigor de resíduos de saúde hospitalares, mas também há um risco à saúde que os impede de serem tratados como resíduo comum.

Para se ter a dimensão do problema a ser abordado neste trabalho, a Tab. 1 apresenta o rebanho efetivo nacional. A população bovina superou a população brasileira no ano de 2010, que foi de 190.733 milhões de pessoas. Os maiores efetivos da espécie bovina encontram-se no estado de Mato Grosso, seguido pelos estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Já o maior efetivo equino encontra-se na região Nordeste, e de suínos na região Sul, com 47,9% de todo o efetivo suíno nacional<sup>2</sup>.

Vale ressaltar que a maior parte do rebanho de corte e leite é criada de forma extensiva e, desta maneira, a produção de resíduos veterinários são produzidos e descartados de maneira dispersa. A bovinocultura de corte e de

leite aparece como o maior mercado consumidor de produtos veterinários do país, responsável por 55% do faturamento total do seguimento, seguido pela suinocultura (15,3%), avicultura (14,2%) e o restante distribuído pelas outras espécies<sup>3</sup>.

**Tabela 1. Rebanho efetivo no Brasil segundo as diversas espécies**

Espécie	Nacional (milhões)
Bovinos	209541
Bubalinos	1.185
Equinos	5.514
Asininos	1.002
Muare	1.277
Suínos	38.957
Caprinos	9.313
Ovinos	17.381
Aves	1.028.181

Fonte: IBGE (2011).<sup>1</sup>

Dada a importância dos elevados números que a bovinocultura representa nos setores econômico e produtivo do país, pressupõe-se que a geração de resíduos inorgânicos, como recipiente de fármacos, de vacinas e de insumos veterinários, será mais expressiva que nas demais atividades pecuárias. Isto porque uma situação diferente ocorre para as demais criações

*Diversas zoonoses podem ser transmitidas pelo contato com os materiais utilizados na prática clínica veterinária em fazendas e também pelo contato com os dejetos dos animais, como a brucelose, a leptospirose e parasitoses.*

animais voltadas para o consumo humano, como frangos e suínos. Estes são criados de forma intensiva e confinados em granjas com elevada densidade populacional, as quais se situam, normalmente, próximo aos polos regionais de comercialização da carne, tornando a relação entre integrado (produtor rural) e a integradora (empresa) mais próxima.

Tendo em vista que a coleta de lixo rural no Brasil cobre apenas 31,6% dos domicílios<sup>4</sup>, a ineficiência no trato com o resíduo sólido doméstico produzido na zona rural é refletida nas práticas de destinação dos resíduos. Galho et al.<sup>5</sup> realizaram entrevistas semiestruturadas com 13 famílias da zona rural no Rio Grande do Sul e verificaram a prática comum de todo o país, onde 45% do lixo produzido é queimado e 34% enterado no solo sem qualquer tipo de tratamento anterior. Esse tipo de disposição tem como consequência a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, as quais são as fontes de captação de água para consumo humano. Tal fato

pode ser verificado no mesmo trabalho, o qual mostrou que 66% da captação de água dessas famílias eram realizadas em açudes.

Diversas zoonoses podem ser transmitidas pelo contato com os materiais utilizados na prática clínica veterinária

ria em fazendas e também pelo contato com os dejetos dos animais, como a brucelose, a leptospirose e parasitoses. São doenças consideradas de risco ocupacional, que afetam principalmente açougueiros, veterinários, magarefes e trabalhadores rurais e são endêmicas em várias regiões do país. Entretanto, há uma discussão de que a leptospirose não seja inteiramente uma doença ocupacional, associando-se mais a atividades recreativas<sup>6</sup>.

As vacinas são compostas por microrganismos inativos ou atenuados e, quando manuseadas de forma correta, não promovem riscos (diretos) à saúde humana. Entretanto, cabe ressaltar que a necessidade de descarte apropriado das embalagens vazias é extremamente importante. Isso porque o homem pode atuar como participante acidental da cadeia epidemiológica das doenças como a brucelose. Por meio da manipulação das secreções do animal infectado ou de vacina atenuada (cepa B-19) de uso comercial, pode haver uma inoculação acidental ou inalação de aerossóis no momento da vacinação quando esta é manuseada inapropriadamente. Desta maneira, pode provocar a doença no animal e no aplicador, além de contaminar o meio ambiente.

Schnurrenberger et al.<sup>7</sup>, em estudo com 1.315 médicos veterinários, que realizaram vacinação para brucelose no estado americano de Illinois, observaram que 17,8% apresentaram produção

de antígenos contra a doença. Ao avaliarem médicos veterinários de pequenos animais, os mesmos autores obtiveram 13,0% desses profissionais infectados no último ano do curso de medicina veterinária, e 62,0% infectados entre os primeiros quatro anos e os quatro anos posteriores ao período da graduação, na dependência dos hábitos pessoais.

Outro inquérito epidemiológico realizado analisou se houve diferença significativa de infecção por leptospirose entre pessoas que mantinham contato íntimo com os animais, normalmente trabalhadores rurais, e os que não tinham contato. Os resultados deste trabalho sugeriram que a população da zona rural encontra-se exposta à infecção por leptospirosas e que o auxílio a partos em animais pode ser um fator de risco, necessitando de maior vigilância por parte das autoridades sanitárias<sup>6</sup>.

A vacina antirrábica é composta por vírus inativo. Sua manipulação não é considerada um risco ocupacional. Entretanto, o desenvolvimento da doença no animal até o seu diagnóstico e o contato das secreções animais pelos trabalhadores é a questão mais preocupante, pois o período de incubação é muito variável, podendo durar de dias a meses, a sintomatologia é inespecífica e o diagnóstico é dado somente após exame laboratorial *post mortem*. Por isso, o tratamento adequado dos materiais utilizados no atendimento clínico dos animais que apresentem sin-

tomatologia neurológica é de extrema importância.

## **Classificação dos resíduos**

Os resíduos sólidos foram classificados pela NBR 12808/1993<sup>8</sup> em três tipos: a classe A, composta por resíduos infectantes; a classe B, composta por resíduos especiais; e a classe C, pelos resíduos comuns. Os detalhes são apresentados na Tab. 2.

Os resíduos infectantes são os de serviços de saúde que, por suas características de maior virulência, infectividade e concentração de patógenos, apresentam risco potencial adicional à saúde pública. Já os resíduos farmacêuticos são enquadrados na classe B e consistem em produtos medicamentosos com prazo de validade vencido, contaminado, interditado ou não utilizado.

A Resolução Conama nº 358/2005<sup>9</sup> caracteriza o resíduo produzido pelo atendimento à saúde humana ou animal como resíduo de saúde, inclusive nos serviços de atendimento domiciliar e de trabalho no campo. Nessa mesma legislação, a responsabilidade da destinação final de tais componentes é delegada ao gerador do resíduo, ou seja, a propriedade rural ou o próprio profissional veterinário, assim como a implantação de um plano de gerenciamento de resíduos de saúde, que deverá ser requerido durante o licenciamento ambiental da propriedade rural. De fato, esse tipo de exigência não condiz com a situação dos resí-

duos do país, onde apenas 31,6% dos municípios rurais possuem coleta de lixo, não sendo levado em consideração a forma de disposição e tratamento dele. Percebe-se que os resíduos inorgânicos oriundos das atividades agropecuárias não se enquadram na legislação vigente e merecem um estudo diferencial com o intuito de se definirem as formas de disposição e de tratamento que podem ser aplicadas.

As pessoas que manipulam esse resíduo é a população rural de todas as faixas etárias, inclusive crianças, que não possuem uma instrução suficiente para realizar esse tipo de serviço. Segundo a legislação americana, o manipulador é definido como a pessoa que pode entrar em contato com os produtos médicos veterinários ou componentes antes da aplicação no animal (por exemplo, durante a preparação e o armazenamento), durante a aplicação e após a aplicação (por meio do contato com animais tratados ou dos resíduos gerados). A avaliação da segurança do usuário deve abordar as situações de exposição resultantes de condições normais de uso e de acidentes previsíveis, como ingestão acidental por crianças e injeções acidentais de medicamentos. Substâncias de uso controlado que podem ser mal utilizadas, como hormônios e drogas psicotróficas, exigem uma atenção especial para as condições de estocagem, no sentido de prevenir acesso de pessoas não autorizadas.

**Tabela 2. Classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR 12808/1993**

<b>Classe</b>		
A	A.1 Biológico	Cultura, inóculo, mistura de microrganismos e meio de cultura inoculado proveniente de laboratório clínico ou de pesquisa, vacina vencida ou inutilizada, filtro de gases aspirados de áreas contaminadas por agentes infectantes e qualquer resíduo contaminado por esses materiais.
	A.2 Sangue e hemoderivados	Bolsa de sangue após transfusão, com prazo de validade vencido ou sorologia positiva, amostra de sangue para análise, soro, plasma e outros subprodutos.
	A.3 Cirúrgico, anatomopatológico e exsudato	Tecido, órgão, feto, peça anatômica, sangue e outros líquidos orgânicos resultantes de cirurgia, necropsia e resíduos contaminados por esses materiais.
	A.4 Perfurante ou cortante	Agulha, ampola, pipeta, lâmina de bisturi e vidro.
	A.5 Animal contaminado	Carcaça ou parte de animal inoculado, exposto a microrganismos patogênicos ou portador de doença infectocontagiosa, bem como resíduos que tenham estado em contato com esse animal.
	A.6 Assistência ao paciente	Secreções, excreções e demais líquidos orgânicos procedentes de pacientes, bem como os resíduos contaminados por esses materiais, inclusive restos de refeições.
B	B.1 Rejeito radioativo	Material radioativo ou contaminado, com radionuclídeos provenientes de laboratório de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia (ver Resolução CNEN- 6.05).
	B.2 Resíduo farmacêutico	Medicamento vencido, contaminado, interdito ou não utilizado.
	B.3 Resíduo químico perigoso	Resíduo tóxico, corrosivo, inflamável, explosivo, reativo, genotóxico ou mutagênico conforme a NBR 10004
C	Resíduo comum	Todos aqueles que não se enquadram nos tipos A e B e que, por sua semelhança aos resíduos domésticos, não oferecem risco adicional à saúde pública. Por exemplo: resíduo da atividade administrativa, dos serviços de varrição e limpeza de jardins e restos alimentares que não entraram em contato com pacientes.

Chaicouski et al.<sup>10</sup> realizaram um estudo sobre manejo dos resíduos sólidos de saúde de origem veterinária em uma comunidade rural no estado do Paraná. Como na região não há coleta de lixo, as soluções adotadas pelos proprietários geram um risco para o ambiente e para os seres humanos, pois pode haver a contaminação do lençol freático e do solo e de crianças e/ou adolescentes que entrem em contato com algum tipo de resíduo disposto a céu aberto. A destinação dos resíduos veterinários era realizada de forma inadequada, por meio da queima na propriedade, descartados com o lixo comum ou descartados diretamente no solo, na propriedade rural.

## **Agrotóxicos X insumos veterinários**

A estrutura legal sobre os produtos veterinários no Brasil é regida pelos Decretos-Lei 467/1969, 1.662/2005, 5.053/2004, 6.296/2007, Lei nº 6.198/1974 e é de responsabilidade exclusiva do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Os Decretos-Lei dispõem sobre a fiscalização de produtos de uso veterinário, dos estabelecimentos que os fabricam, definem os produtos da indústria veterinária e dão outras providências, estabelecendo a obrigatoriedade da fiscalização da indústria, do comércio e do emprego dos produtos veterinários em todo o país. Entretanto, não há menções sobre

normas e/ou regras para o destino das embalagens vazias.

Na legislação da União Europeia, o termo produto veterinário engloba não apenas os compostos farmacêuticos como também os produtos ectoparasitas, as vacinas e outros produtos que são adicionados intencionalmente na alimentação animal. Essa definição inclui substâncias ou combinações utilizadas para tratar ou prevenir doenças que são administradas para restaurar, corrigir ou modificar alguma função fisiológica, como os produtos que promovem alteração do ciclo estral.

Os praguicidas de uso veterinário e de uso agrícola têm semelhanças químicas e/ou estruturais; assim, é razoável esperar que os antiparasitários veterinários recebam atenção semelhante aos agrotóxicos, o que não se observa atualmente, conforme apresentado na Tab. 3.

Os agrotóxicos de uso veterinário são analisados exclusivamente pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Desta maneira, produtos formulados com o mesmo princípio ativo, numa mesma concentração, podem ter avaliações distintas, para fins de registro, dependendo da sua utilização na agricultura ou na pecuária. A inclusão dos agrotóxicos no rol de produtos de uso veterinário cria uma confusão jurídica com sérias implicações práticas: ao mesmo tempo, produtos formulados a partir dos mesmos princípios-ativos, voltados ao combate a

**Tabela 3.** Análise comparativa de aspectos presentes na legislação sobre produtos veterinários e agrotóxicos

<b>Itens</b>	<b>Agrotóxicos</b>	<b>Produtos veterinários</b>
Órgãos reguladores	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Saúde e Ministério do Meio Ambiente (Lei nº 7.802, de 1989)	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Decreto nº 5.053, de 2004)
Classificação toxicológica	Exigida por Lei (Lei nº 7.802, de 1989) e de responsabilidade do Ministério da Saúde (por meio da Anvisa). Obrigatoriedade de constar tais informações nos rótulos (incluindo destaque por cores)	Não há exigência quanto à avaliação de toxicidade nem de seu registro no rótulo dos produtos
Produtos para pesquisa e experimentação	Recebem um registro especial temporário (Lei nº 7.802, de 1989)	São dispensados de registro (Lei nº 6.198, de 1974)
Embalagem	Deve ser provida de lacre irremediavelmente destruído após aberta pela primeira vez. (Lei nº 7.802, de 1989)	Deve ser aprovada pelo MAPA e deve ser de primeiro uso, garantindo qualidade e inviolabilidade do produto (Lei nº 6.198, de 1974)
Fracionamento do produto	Somente poderão ser realizados pela empresa produtora ou por estabelecimento devidamente credenciado, sob responsabilidade da produtora, em locais previamente autorizados por órgãos competentes. (Lei nº 9.974, de 2000)	Na comercialização a granel de produtos destinados à alimentação animal, a responsabilidade pela manutenção da qualidade passa a ser do estabelecimento que o adquiriu, a partir de seu efetivo recebimento (Lei nº 6.198, de 1974)
Descarte de embalagens pelo produtor	Embalagens vazias devem ser devolvidas no ponto de venda no prazo de até um ano após a data da compra. Esta informação deve vir em bula (Lei nº 9.974, de 2000)	Não há menção
Destinação de embalagens	As empresas produtoras e comercializadoras são responsáveis pela destinação destas com vistas à sua reutilização, reciclagem ou inutilização, obedecendo a normas e instruções de órgãos registrantes e sanitário-ambientais competentes (Lei nº 9.974, de 2000)	Não há menção

Fonte: Silva et al.<sup>11</sup> (2012).

pragas, são classificados, controlados e legislados de maneira bastante distinta, dependendo de seu uso primário<sup>11</sup>.

Publicações recentes ao tema relacionando o trabalhador rural à exposição de praguicidas mostram que a utilização de defensivos agrícolas promove riscos de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho. Schmidt e Godinho<sup>12</sup> realizaram um estudo com 50 produtores rurais, numa região do interior de São Paulo conhecida pela elevada produção de grãos, principalmente soja e milho, e identificaram falta de treinamento técnico para utilização de agrotóxicos, sobretudo erro de dosagem, além de relatos de crianças que pegam as embalagens de agrotóxicos vazias para brincar.

Os efeitos adversos à saúde relacionados à exposição a organofosforados são problemas comumente enfrentados por profissionais relacionados à cultura de gado leiteiro, entre estes, autoridades sanitárias, veterinários e produtores. De acordo com os

*Os efeitos adversos à saúde relacionados à exposição a organofosforados são problemas comumente enfrentados por profissionais relacionados à cultura de gado leiteiro, entre estes, autoridades sanitárias, veterinários e produtores.*

*As experiências positivas de logística reversa das embalagens vazias de agrotóxicos podem servir de modelo para os demais segmentos que ainda carecem de políticas específicas para a destinação ambientalmente correta dos resíduos gerados.*

autores citados, os problemas mais observados são as neuropatias periféricas de efeito retardado, as taquicardias, as fraquezas musculares e as midríases, efeitos geralmente associados a episódios de intoxicação aguda.

Nos Estados Unidos, tem sido recomendado o descarte de medicamentos no esgoto e não no lixo. Esta iniciativa foi tomada para proteger os humanos e os animais de contaminação acidental, além de envenenamentos por ingestão ou por contato, pois permitir que medicamentos sejam armazenados em lixo pode promover sua acumulação e recuperação do conteúdo a partir do lixo.

Em 2011, o InpEV<sup>13</sup> lançou o primeiro Relatório de Sustentabilidade. Houve recolhimento de 34.202 toneladas de embalagens de agrotóxicos, que foram retiradas do campo e enviadas para a destinação ambientalmente adequada para reciclagem e incineração, o que representou 80% das embalagens comercializadas.

As experiências positivas de logísti-

ca reversa das embalagens vazias de agrotóxicos podem servir de modelo para os demais segmentos que ainda carecem de políticas específicas para a destinação ambientalmente correta dos resíduos gerados.

No tocante ao retorno de embalagens vazias de insumos farmacêuticos (pesticidas) veterinários, tramitam no Congresso projetos de lei (PLS 134/2007 e PLS 718/2007) que propõem a alteração do Decreto-Lei nº 467/1969<sup>14</sup>, passando a vigorar a responsabilidade para a destinação das embalagens vazias de insumos veterinários.

No plano internacional, diferentes países já adotaram políticas para a gestão de resíduos sólidos. Na União Europeia, o principal instrumento utilizado para subsidiar o sistema de logística reversa é uma tarifa paga pelo setor produtivo (distribuidores, produtores de embalagens, etc.) por tipo de produto reciclável.

*A maior geração de resíduos agrossilvopastoris na produção animal está relacionada a resíduos orgânicos provenientes da produção, sendo esses dejetos restos de alimentos, cama de frango, carcaças de animais mortos e restos de parição. O gerenciamento desses resíduos está vinculado diretamente ao manejo, que pode ser seco ou úmido.*

*O processo de compostagem pode ser definido como sendo a decomposição biológica controlada de resíduos orgânicos, realizada por microrganismos autóctones, num ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono, água, minerais, e tendo como resultado final o composto orgânico*

## **Resíduos orgânicos na produção animal**

A maior geração de resíduos agrossilvopastoris na produção animal está relacionada a resíduos orgânicos provenientes da produção, sendo esses dejetos restos de alimentos, cama de frango, carcaças de animais mortos e restos de parição.

O gerenciamento desses resíduos está vinculado diretamente ao manejo, que pode ser seco ou úmido. No ma-

nejo úmido, adota-se sistema de tratamento de efluentes líquidos (ETE); já no caso do manejo seco ou de resíduos

sólidos gerados na ETE, o ideal é adotar o aproveitamento de resíduos. Entre as principais formas de aproveitamento estão a compostagem, o uso de esterqueiras ou bioesterqueiras e os biodigestores.

## **Compostagem**

O processo de compostagem pode ser definido como sendo a decomposição biológica

controlada de resíduos orgânicos, realizada por microrganismos autóctones, num ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono, água, minerais, e tendo como resultado final o composto orgânico, que constitui um material humidificado, com odor de terra, facilmente manuseado e estocado, o qual contribui para a fertilidade e a estrutura do solo<sup>15, 16</sup>.

A compostagem se desenvolve em três fases distintas:

- *Fase mesofílica*: é a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40°C, tendo em média de dois a cinco dias.
- *Fase termofílica*: nessa fase, predominam as altas temperaturas, e ela pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material a ser compostado.
- *Fase de maturação*: é a fase em que ocorre a humificação da matéria orgânica, tendo duração de semanas a meses.

Os fatores que afetam o processo de compostagem são:

### 1. Relação carbono/nitrogênio (C/N)

O carbono e o nitrogênio são os elementos mais importantes requeridos para que a decomposição microbiana se desenvolva plenamente. O carbono fornece, simultaneamente, uma fonte

**A relação C/N deve estar no intervalo de 25:1 a 40:1.**

energética para o metabolismo e o material básico para construção de células microbianas. Já o nitrogênio é o elemento

essencial na formação de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas necessários para o crescimento e o funcionamento celular.

A relação C/N deve estar no intervalo de 25:1 a 40:1, pois valores elevados significam que não há nitrogênio suficiente para um ótimo crescimento das populações microbianas, e a velocidade de decomposição será reduzida. Por outro lado, baixos valores de C/N induzem perdas de nitrogênio na forma de amônia, causando odores indesejáveis<sup>16</sup>.

Na Tab. 4 estão listadas as relações C/N de diferentes resíduos.

**Tabela 4. Relações C/N de diferentes resíduos para compostagem**

Material	Relação C/N
Esterco bovino	18:1
Esterco de aves	10:1
Esterco suíno	19:1
Esterco de ovinos	15:1
Esterco de equinos	18:1
Cama de aviário	14:1
Café: casca	53:1
Cana-de-açúcar	22:1
Serragem	865:1

Fonte: Adaptado de Kiehl<sup>15</sup>

## **2. Tamanho das partículas dos resíduos agrícolas**

Os resíduos a serem compostados não devem conter partículas muito pequenas, a fim de se evitar a compactação durante o processo, o que comprometeria a aeração. Por outro lado, resíduos com partículas maiores retardam a decomposição por reterem pouca umidade e apresentarem menor superfície de contato com os microrganismos. As partículas devem ter o tamanho do intervalo de 10 a 50 mm.

## **3. Umidade**

O teor de umidade do material a ser compostado deve estar entre 40 e 60%, pois, com valores inferiores a 40%, a atividade microbiana é restringida, e com teores acima de 60%, começa a haver comprometimento da aeração, provocando condições anaeróbias e consequente liberação de maus odores.

Para corrigir o problema, em caso de baixo teor de umidade, deve-se irrigar uniformemente a pilha de resíduos e, quando o teor de umidade estiver excessivo, deve-se fazer o revolvimento do material.

## **4. Aeração**

A aeração é o principal mecanismo capaz de evitar os altos valores de temperatura durante o processo de compostagem, o aumento da velocidade de oxidação do material orgânico e a diminuição da emissão de odores, pois,

por se tratar de um processo aeróbio de oxidação, a disponibilidade de oxigênio é um fator primordial.

A aeração é feita por meio do reviramento das leiras, de forma manual ou mecânica, ou por meio de aeração forçada, utilizando compressores e tubos perfurados dentro da leira.

O reviramento das leiras é indicado a cada três dias, durante os primeiros 30 dias, e a cada seis dias até o término da primeira fase (temperaturas inferiores a 40°C).

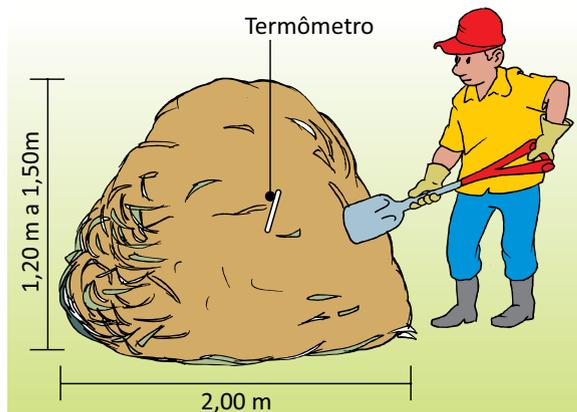
## **5. Temperatura**

A temperatura constitui o fator mais importante no indicativo do equilíbrio biológico, refletindo a eficiência do processo de compostagem. Segundo Pereira Neto (1996), na fase de degradação ativa, a manutenção de temperaturas termofílicas (45 a 65°C) controladas é um dos requisitos básicos, pois é por meio desse controle que se consegue aumento da eficiência do processo. Já na 2ª fase ocorre desenvolvimento de temperaturas mesofílicas (30 a 45°C), sendo que temperaturas inferiores a 45°C indicam o início da fase de maturação<sup>17</sup>.

O controle da temperatura pode ser realizado por meio da configuração da leira, aumentando ou diminuindo a área superficial, e por reviramentos periódicos. Nesse processo, a aeração da massa de compostagem passa a ser o mecanismo de controle da temperatura na faixa ótima<sup>17</sup>.



**Figura 1.** Preparo de leiras



**Figura 2.** Formato da leira.



**Figura 3.** Placa de identificação da leira



**Figura 4.** Esquema de esterqueira.

Fonte: Adaptado de Freitas<sup>21</sup> e [www.banet.com.br](http://www.banet.com.br).

## 6. Preparo das leiras

No processo de compostagem, são necessários materiais que forneçam carbono (restos de capina e poda, serragem, palha de milho, casca de arroz, etc.), e materiais que forneçam nitrogênio (restos de alimentos, casca de frutas, legumes, hortaliças, esterco, etc.). A proporção em peso da mistura desses materiais é de 70% de material palhoso (fonte de carbono) para 30% de esterco ou lixo orgânico (fonte de nitrogênio), como mostra a Fig. 1<sup>17</sup>.

Após a mistura dos resíduos, as leiras devem ser montadas imediatamente para que se inicie o processo de compostagem. A leira deve ter altura de 1,20 a 1,50 metro e largura de 2,0 metros (Fig. 2). Já o comprimento depende da quantidade de material e da área de compostagem.

Depois de montada, cada leira deve receber uma placa de identificação, constando número da leira e data de montagem, como mostra a Fig. 3.

O tempo necessário para a conclusão do processo de compostagem de forma natural é de 60 a 120 dias.

### **Compostagem de carcaças de animais mortos**

Tradicionalmente, os métodos utilizados para disposição de carcaças de animais mortos incluem fossas anaeróbias, incineração e enterramento. As fossas anaeróbias são construções em

alvenaria, dimensionadas para receber carcaças em períodos curtos, em média dois anos, sendo que geralmente se esgotam antes do período projetado. Quanto à incineração, sabe-se que a umidade das carcaças, em torno de 6-70%, dificulta a queima em baixa temperatura, determinando a necessidade de se utilizar combustível para se obterem altas temperaturas e injeção de ar para aumentar a eficiência da queima, o que eleva os custos, tanto em termos de estrutura dos queimadores quanto em termos operacionais, além de gerar odores. No caso do enterramento de carcaças, são feitas valas, que ocupam muito espaço e muitas vezes não podem ser utilizadas na época das chuvas<sup>18, 19</sup>.

Neste sentido, a compostagem de carcaças de animais, como também de restos de parição, tem se tornado uma alternativa atraente. No caso das carcaças de animais, a compostagem é feita em estrutura de alvenaria, protegida da chuva e com drenos para coleta de eventuais percolados gerados pela composteira, na qual as carcaças são colocadas, em camadas alternadas com maravalha ou serragem de madeira, de forma que todos os fatores que influenciam o processo (relação C/N, umidade, aeração e temperatura) estejam adequados.

### **Esterqueiras e bioesterqueiras**

As esterqueiras constituem depósitos que têm por objetivo principal o

armazenamento dos dejetos provenientes de sistemas de produção, sendo dimensionados para período mínimo de 120 dias, de forma a permitir pequena estabilização dos dejetos<sup>20</sup>.

As esterqueiras, geralmente, são de formato cilíndrico, trapezoidal ou retangular, sendo recomendado o revestimento para evitar percolação no solo, com consequente contaminação da água subterrânea. Os materiais mais comuns utilizados para o revestimento são pedras argamassadas, alvenaria de tijolos, lonas de PVC ou PEAD<sup>20</sup>.

Os locais mais adequados para a construção de esterqueiras são os terrenos inclinados, que permitem a execução de forma semienterrada, o que reduz os custos de construção e facilita a carga e descarga dos dejetos<sup>21</sup> (Fig. 4).

## Referências

1. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. 2011. Disponível em [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Producao\\_da\\_Pecuaria\\_Municipal/2011/ppm2011.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2011/ppm2011.pdf). Acesso em março de 2013.
2. BRASIL, Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em março de 2013.
3. SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA A SAÚDE ANIMAL. Sindan. *Mercado de Produtos Veterinários*. Disponível em <http://www.sindan.org.br/sd/base.aspx?controle=8>. Acesso em março de 2013.
4. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. 2008. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf). Acesso em março de 2013.
5. GALHO, V.M.; LIMA, M.C.; GIL, R.L.; ISOLDI, L.A. *Educação Ambiental: o lixo em zona rural do município de Arroio Grande - RS*. Anais: XVI Congresso de Iniciação Científica. IX Encontro de Pós-Graduação, 27 a 29 de novembro de 2007.
6. GARCIA, J.L.; NAVARRO, I.T. Avaliação sorológica da leptospirose e brucelose em pacientes moradores da área rural do município de Guaraci, Paraná, Brasil. *Revista Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. v. 34, n. 3, p. 299-300. 2001.
7. SCHNURRENBERGER P.R.; WALKER J.F.; MARTIN, R.J. *Brucella infections in Illinois veterinarians*. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. v.167, n.12, p.1084-1088. 1975.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12808:1993, *Resíduos de serviço de saúde – Classificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1993. 5p
9. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Conama. Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005, que dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>. Acesso em março de 2013.
10. CHAICOUSKI, A.; SILVA, J.E.; NIGELSKI, S.B.; NATUME, R.Y.; MENEGUZZO, I.S. Destinação final dos resíduos sólidos de serviços de saúde em pequenas propriedades rurais da colônia Witmarsum – PR. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*. v.4, n.2, p.207-217. 2010.
11. SILVA, T.P.P.; MOREIRA, J.C.; PERES, F. Serão os carrapaticidas agrotóxicos? Implicações na saúde e na percepção de riscos de trabalhadores da pecuária leiteira. *Ciências e Saúde Coletiva*. v.17, n.2, p.311-325. 2012.
12. SCHMIDT, M.L.G.; GODINHO, P.H. Um breve estudo acerca do cotidiano do trabalho de produtores rurais: intoxicações por agrotóxicos e subno-

- tificação. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*. v.31, n.113, p.27-40. 2006.
13. INSTITUTO NACIONAL DO PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS. InpEV. *Relatório de Sustentabilidade de 2011*. Disponível em: [www.inpev.org.br](http://www.inpev.org.br). Acesso em março de 2013.
  14. BRASIL. Decreto-Lei nº 467, de 13 de fevereiro de 1969. Dispõe sobre a fiscalização de produtos de uso veterinário, dos estabelecimentos que os fabricam e dá outras providências. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del0467.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0467.htm). Acesso em março de 2013.
  15. KIEHL, E.J. *Preparo do composto na fazenda*. 2ª Ed. Brasília. Embrater. 1985. 14p.
  16. VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR, B.S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P.O.; LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Arch. Zootec.* v.58, p.59-85. 2009.
  17. PEREIRA NETO, J.T. *Manual de Compostagem: processo de baixo custo*. Unicef. Belo Horizonte. 1996. 56p.
  18. PAIVA, D.P.; BLEY JR, C. *Emprego de compostagem para destinação final de suínos mortos e restos de parição*. Circular Técnica 26. Embrapa. Concórdia. 2001. Disponível em [www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/CiT26.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/CiT26.pdf). Acesso em março de 2013.
  19. ABREU, P.G.; CESTONARO, T.; ABREU, V.M.N.; COLDEBELLA, A.; LOPES, L.S.; TOMAZELLI, I.L. Modelos de Composteira para Compostagem de Aves Mortas. Circular Técnica 57. Concórdia. Embrapa, 2010. Disponível em [http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/publicacao\\_16n9r7s.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_16n9r7s.pdf). Acesso em março de 2013.
  20. KUNZ, A.; OLIVEIRA, P.M.V.; HIGARASHI, M.M.; SANGOI, V. *Recomendações para uso de esterqueiras para armazenagem de dejetos de suínos*. Concórdia. EMBRAPA, 2004. Disponível em [http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/publicacao\\_c6f75b0x.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_c6f75b0x.pdf). Acesso em março de 2013.
  21. FREITAS, J.Z. *Esterqueiras para dejetos bovinos*. Manual Técnico 4. Programa Rio Rural. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro. 2008. 8p. Disponível em <http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/04%20Esterqueira.pdf>. Acesso em março de 2013.



# Aproveitamento energético de resíduos sólidos

*Luciano dos Santos Rodrigues<sup>1</sup>*

*Israel José da Silva<sup>1</sup> - CRMV 1033*

*Ana Cristina Araujo Pinto<sup>1</sup> - CRMV 13510*

<sup>1</sup>Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

<sup>\*</sup>Autor para correspondência: lsantosrodrigues@gmail.com

## Introdução

O atual crescimento populacional e tecnológico se reflete no elevado aumento no consumo de energia, o que leva à construção de mais usinas, com consequente impacto ao meio ambiente, saturação das fontes fornecedoras e altos investimentos na pesquisa de alternativas energéticas. Além disso, esse crescimento faz aumentar a necessidade de maior produção de alimentos por meio de atividades como a agricultura e a pecuária, que geram grandes volu-

mes de resíduos e apresentam dificuldades no tratamento e na disposição final destes. Isso favorece a criação de alternativas para o aproveitamento desses resíduos na sua já comprovada produção energética, agregando a redução do impacto ambiental ao aumento da geração de uma energia limpa, barata e renovável.

Diferentemente do que se imagina, as indústrias e os grandes centros urbanos não são os únicos responsáveis pela poluição ambiental; a área rural também tem grande participação pela uti-

lização de dejetos de animais sem qualquer tratamento, como adubo, ou lançamento direto em corpos d'água, poluindo o solo, águas superficiais e subterrâneas.

Além da poluição, a agricultura e a pecuária são grandes produtoras de gases de efeito estufa. Estima-se que 20% dos gases metano, óxido nitroso e gás carbônico são liberados pelo setor agrícola, e no setor pecuário, os principais gases emitidos são o metano (15%) e o óxido nitroso (6%).

Por ser o gás de efeito estufa mais abundante na atmosfera, o CO<sub>2</sub> se tornou referência no cálculo de emissão de gases e do potencial de aquecimento global, que mede o quão potente um gás é para aquecer a terra. O metano é 25 vezes mais potente para aquecer a Terra que o CO<sub>2</sub>. E o óxido nitroso, 298 vezes mais potente. Na pecuária, o metano é emitido pela fermentação intestinal de ruminantes. Já o óxido nitroso é lançado quando se

*É de grande importância o aproveitamento de resíduos e dejetos, contribuindo para a conservação do meio ambiente e utilização desse material na cadeia produtiva, reduzindo-se os custos com a produção de uma energia limpa e renovável, e diminuindo a dependência de combustíveis fósseis não renováveis e poluentes.*

*O biogás é o subproduto oriundo da degradação anaeróbia da biomassa, sendo composto por metano, dióxido de carbono, nitrogênio e outros gases em menores escalas.*

adiciona adubo nitrogenado ao solo.

É de grande importância o aproveitamento de resíduos e dejetos, pois, além de contribuir para a conservação do meio ambiente por meio da diminuição da poluição e da redução da liberação de gases de efeito estufa, pode-se utilizar esse material na cadeia produtiva, reduzindo-se os custos com a produção de uma energia limpa e renovável, e diminuindo

a dependência de combustíveis fósseis não renováveis e poluentes.

A energia gerada por meio da biomassa pode ser aplicada tanto em pequena escala, para pequenos povoados, meios rurais e populações remotas, quanto em grande escala para indústrias e áreas altamente povoadas.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em 2009, 13% da energia consumida

no Brasil foi gerada do bagaço da cana-de-açúcar, subproduto da indústria sucroalcooleira.

No Brasil, existe o Decreto nº 7.404, de 2010, que regulamenta a lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos e

estimula o aumento da oferta de energia no país com o aproveitamento de biomassa (matéria orgânica de animais e vegetais).

## Biogás

O biogás é o subproduto oriundo da degradação anaeróbia da biomassa, sendo composto por metano, dióxido de carbono, nitrogênio e outros gases em menores escalas.

A biomassa é qualquer matéria orgânica (animal ou vegetal) que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras), pecuária (dejetos e ração) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo e o esgoto). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos.

O biogás é também produzido de diversos resíduos orgânicos:

- excrementos de animais;
- lodos de esgoto;
- lixo doméstico;
- resíduos agrícolas;
- efluentes industriais e urbanos.

A experiência chinesa e a indiana com digestão anaeróbia de resíduos agrícolas constituem um importante marco para difusão da digestão anaeróbia, pois elas asseguraram melhoria das condições sanitárias e permitiram a produção de biogás, insumo energético de grande utilidade para a população do meio rural<sup>1</sup>.

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema em que

diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia<sup>2</sup>. A produção de metano ocorre em diferentes ambientes naturais, tais como pântanos, solo,

sedimentos de rios, lagos e mares, assim como nos órgãos digestivos de animais ruminantes.

A degradação da matéria orgânica por via anaeróbia requer a participação de diferentes grupos microbianos com funções e comportamentos fisiológicos diferenciados. As várias rotas metabólicas que ocorrem neste processo de digestão são as seguintes<sup>1,2</sup>:

- hidrólise: conversão, por meio da ação de exoenzimas excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas, de materiais particulados complexos em materiais dissolvidos mais simples,

*O biogás é o subproduto oriundo da degradação anaeróbia da biomassa, sendo composto por metano, dióxido de carbono, nitrogênio e outros gases em menores escalas.*

permitindo que atravessassem a parede celular das bactérias;

- acidogênese: resultado da metabolização fermentativa dos produtos solúveis pelas bactérias, produzindo diversos compostos mais simples, como: ácidos orgânicos, álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio e novas células bacterianas;
- acetogênese: oxidação realizada pelas bactérias sintróficas acetogênicas de compostos orgânicos intermediários, como propionato e butirato, em substrato apropriado (acetato, hidrogênio e dióxido de carbono) para os microrganismos metanogênicos;
- metanogênese: última fase do processo de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono, realizada pelas arqueas metanogênicas, as quais podem ser divididas em: metanogênicas acetoclásticas, quando usam o acetato como fonte de carbono e energia, produzindo gás carbônico e metano; e metanogênicas hidrogenotróficas, quando utilizam o gás carbônico como fonte de carbono eceptor final de elétrons e o hidrogênio como fonte de energia.

Em razão de a produção de biogás ser realizada por arqueas, existem condições de sobrevivência destas que po-

*As arqueas metanogênicas é que produzem o metano; se houver oxigênio no ambiente, as arqueas deixam de se desenvolver e será produzido somente CO<sub>2</sub>, sendo necessário o completo vedamento do biodigestor.*

dem afetar diretamente o resultado final, tais como:

### **Ausência de oxigênio**

As arqueas metanogênicas é que produzem o metano; se houver oxigênio no ambiente, as arqueas deixam de se desenvolver e será produzido somente CO<sub>2</sub>,

sendo necessário o completo vedamento do biodigestor.

### **Temperatura adequada**

As arqueas metanogênicas são sensíveis a alterações de temperatura, sendo que dois níveis ótimos de temperatura têm sido associados à digestão anaeróbia: a faixa mesófila (30 a 35°C) e a faixa termófila (50 a 55°C), sendo que a maioria dos digestores anaeróbios têm sido projetados na faixa mesófila.

### **Alcalinidade e pH**

A alcalinidade é uma medida da quantidade de carbonato na solução (proveniente do CO<sub>2</sub>, produzido durante a digestão anaeróbia). Esta é importante, pois à medida que se produzem ácidos no meio, o carbonato reage com estes, permitindo o controle de acidez do meio. As bactérias produtoras de metano têm um crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4. Valores de pH abaixo de 6,0 e acima de 8,3 devem ser evitados, pois podem inibir comple-

tamente as arqueas produtoras de metano.

### Nutrientes

Os tratamentos biológicos necessitam de nutrientes inorgânicos em quantidades suficientes e em equilíbrio para um funcionamento eficiente. O conhecimento da composição química e do tipo de biomassa utilizado é muito importante, como no caso dos dejetos animais, que são ricos em nitrogênio, e os resíduos de culturas vegetais, que são ricos em carbono.

### Teor de água

O produto que for para a câmara de fermentação precisa ter um percentual de água de 90 a 95% em relação ao peso dele. Tanto o excesso quanto a falta de umidade são prejudiciais à produção de gás.

No esterco bovino, que possui, em média, 85% de umidade, é necessário acrescentar 100% de água em relação ao seu volume, atingindo a proporção 1:1. No suíno, é necessário acrescentar 130% de água, já que este apresenta apenas 19% de umidade. Os que precisam de mais água são o esterco dos ovinos e o dos caprinos, que exigem 320% de água, já que a sua umidade é extremamente baixa.

## Características do biogás

O biogás é uma mistura gasosa composta por diferentes gases. Na Tab. 1 são

**Tabela 1. Principais gases que compõem o biogás<sup>3</sup>**

Composição	Volume (%)
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 a 75
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25 a 40
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1 a 3
Azoto (N <sub>2</sub> )	0.5 a 2.5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0.1 a 1
Sulfureto de hidrogênio (H <sub>2</sub> S)	0.1 a 0.5
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0.1 a 0.5
Monóxido de carbono (CO)	0 a 0.1
Água (H <sub>2</sub> O)	Variável

mostrados os principais deles.

- O poder calorífico do biogás é aproximadamente 21600 kJ/m<sup>3</sup>.
- O principal componente do biogás, quando usado como combustível, é o metano (CH<sub>4</sub>).
- O metano não tem cheiro, cor ou sabor, mas outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre.
- Apresenta menor perigo de explosão – não tóxico.
- A densidade do metano é pouco mais da metade do peso do ar ( $\rho = 0,72 \text{ kg/m}^3$ ).
- Apresenta-se como fonte de energia alternativa e renovável.

Um metro cúbico (1 m<sup>3</sup>) de biogás equivale<sup>4</sup> energeticamente a: i) 1,50 m<sup>3</sup> de gás natural; ii) 0,98 litros de gasolina; iii) 1,34 litros de álcool; iv) 2,21 kW/h de eletricidade; v) 1,51 m<sup>3</sup> de carvão.

Pode-se produzir 1 m<sup>3</sup> de biogás com os seguintes ingredientes: i) 25 kg de esterco fresco de vaca; ou ii) 5 kg de esterco seco de galinha; ou iii) 12 kg de esterco de porco; ou iv) 25 kg de plantas ou casca de cereais; ou v) 20 kg de lixo.

Os dados presentes na Tab. 2 mostram as diferentes produções de biogás de cada biomassa, bem como a concentração de metano. Nota-se, também, que os dejetos suínos constituem a biomassa com melhor rendimento, biogás/tonelada, cerca de 560 m<sup>3</sup> de biogás, e apresenta um ótimo nível de gás metano (50%). Apenas como comparação, convém notar que os dejetos de bovinos produzem apenas 270 m<sup>3</sup> de biogás/tonelada, sendo o índice de presença de metano neste biogás de 55%, ou seja, apenas 5% a mais que o índice alcançado pelo estrume de suínos. Isso prova que a excelente produção de biogás oriundo de dejetos suínos é o fator que melhor compensa a demora desses dejetos em produzir o biogás.

## Vantagens e desvantagens

As vantagens do uso do biodigestor são:

- em termos de tratamento de resíduos:* i) é um processo natural para tratar resíduos orgânicos; ii) requer menos espaço que aterros sanitários ou compostagem; iii) diminui o volume de resíduo a ser descartado;
- em termos de energia:* i) é uma fonte de energia renovável; ii) produz um combustível de alta qualidade;
- em termos ambientais:* i) soluciona o problema de saneamento ambiental, com aproveitamento dos dejetos animais e vegetais; ii) reaproveita a matéria orgânica; iii) produz como resíduo um biofertilizante; iv) reduz significativamente a quantidade emitida de metano na atmosfera.
- em termos econômicos:* i) reduz gastos com eletricidade, esgotos, descarte de resíduos, etc.; ii) constitui uma fonte de renda para propriedades rurais; iii) contribui para a geração

**Tabela 2 . Expectativa de produção de biogás por biomassa**

Biomassa (dejetos)	Produção de biogás (m <sup>3</sup> / tonelada de matéria seca)	Percentual de metano produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Fonte: Sganzerla<sup>5</sup>.

dos créditos de carbono (Protocolo de Kioto).

As desvantagens do seu uso são:

1. formação de gás sulfídrico ( $H_2S$ ), que é tóxico e altamente corrosivo para os equipamentos, aumentando os custos de manutenção;
2. a variabilidade na produção do biogás;
3. remoção periódica do lodo (1 a 5 anos);
4. custo elevado e alto período de retorno do investimento.

## Digestores anaeróbios

Os reatores anaeróbios mais utilizados para obtenção de biogás são os reatores anaeróbios de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB) e os bio-

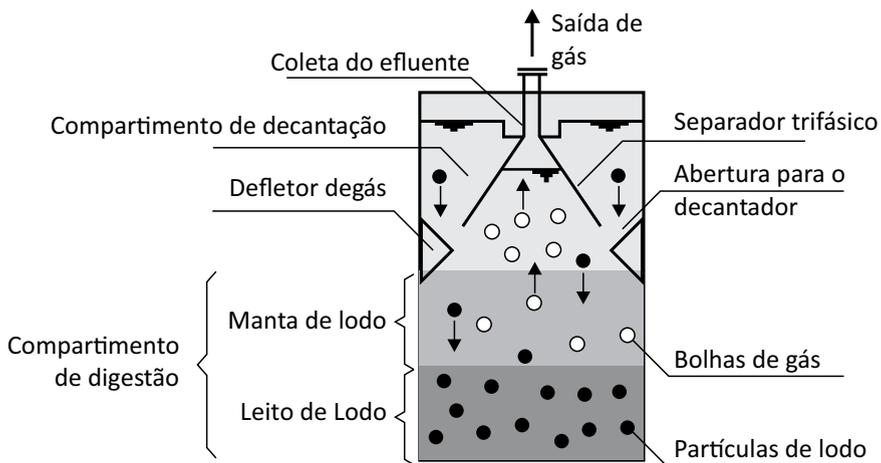
*O reator UASB tem sido amplamente estudado devido a sua vantagem de combinar construção e operação simplificada com capacidade de acomodar altas cargas orgânicas e hidráulicas.*

digestores, sendo esses os mais frequentemente encontrados no Brasil, sobretudo nas granjas de suinocultura.

## Reator UASB

O reator UASB tem sido amplamente estudado devido a sua vantagem de combinar construção e operação simplificada com capacidade de acomodar altas cargas orgânicas e hidráulicas<sup>6</sup>. O interesse pelo UASB vem crescendo ao longo dos anos devido às vantagens por ele proporcionadas: ocupa pequenas áreas, produz pouco lodo, não consome energia e não necessita de equipamentos mecânicos<sup>7</sup>.

No Brasil, o reator UASB tem sido utilizado para tratamento de esgotos desde o início da década de 1980, prin-



**Figura 1.** Reator UASB

principalmente no Paraná, onde tem evoluído em forma e função, mediante a experiência de centenas de unidades construídas. Atualmente, o reator já se encontra em praticamente todos os estados do país<sup>8</sup>.

O volume desse tipo de biodigestor, em relação a outros, é sensivelmente menor, o que o torna extremamente eficiente, em virtude da retenção do lodo por períodos longos (semanas, meses ou até mesmo anos), enquanto o tempo de retenção da parte líquida pode ser baixo (horas).

A configuração de um reator UASB (Fig. 1) é feita no regime hidráulico de fluxo ascendente e na incorporação de um dispositivo interno de separação sólido/gás/líquido, dispensando o uso de um meio suporte para crescimento da biomassa. Esse separador trifásico faz com que os produtos oriundos do tratamento saiam separadamente do reator, o que permite prontamente sua utilização, podendo o efluente ser lançado num corpo receptor ou como biofertilizante; o lodo, que já sai estabilizado, também pode ser aproveitado como biofertilizante; e o biogás pode ser queimado, ou seu potencial energético utilizado.

## **Biodigestor**

O primeiro biodigestor data do ano de 1857, em Bombaim, na Índia. Foi destinado com o intuito de produzir gás combustível para um hospital de hansenianos<sup>9</sup>. Mediante várias pesqui-

zas que difundiram o uso de biodigestores, foi criado, em 1939, na cidade de Kampur, na Índia, o Institute Gobár Gás (Instituto de Gás de Esterco), onde foi criada a primeira usina de gás de esterco, que tinha por objetivos tratar os dejetos animais, obter biogás e aproveitar o biofertilizante. Foi esse trabalho pioneiro que permitiu a construção de quase meio milhão de biodigestores na Índia, o que motivou a China a adotar tal tecnologia a partir de 1958, e em 1972, já possuíam aproximadamente 7,2 milhões de biodigestores em atividade<sup>10</sup>. Essa tecnologia só foi trazida ao Brasil na década de 70, com a crise do petróleo. Diversos programas de difusão foram implantados na região Nordeste, porém os resultados não foram satisfatórios e os benefícios obtidos não foram suficientes para dar continuidade ao programa.

O biodigestor pode ser definido como uma câmara de fermentação fechada, onde a biomassa sofre a digestão pelas bactérias anaeróbicas, produzindo biogás. Em outras palavras, trata-se de um recipiente completamente fechado e vedado, que impede qualquer entrada de ar, construído de alvenaria, concreto ou outros materiais, onde é colocado o material a ser degradado para posterior fermentação<sup>11</sup>.

Existem vários tipos de biodigestores, porém os mais difundidos são chineses, indianos e canadenses. Cada um possui sua peculiaridade, entretanto to-

dos têm como objetivo criar condição anaeróbica, ou seja, total ausência de oxigênio para que a biomassa seja completamente degradada<sup>11</sup>. Atualmente, o modelo de biodigestor mais difundido no Brasil é aquele feito de manta de PVC, de baixo custo e fácil instalação, se comparado com os modelos antigos, e com a vantagem de poder ser usado tanto para pequenos produtores como para grandes projetos agroindustriais.

### Tipos de biodigestores

Basicamente, existem três modelos de biodigestor: o modelo indiano; o modelo chinês e o modelo canadense ou de fluxo tubular.

#### 1. Modelo indiano

A Fig. 2 mostra o modelo indiano de biodigestor, que tem como característica principal o uso de uma campânula flutuante como gasômetro, sendo que esta pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação. Existe ainda uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função dessa divisória é fazer com que o material circule por todo o interior da

*O modelo indiano de biodigestor, que tem como característica principal o uso de uma campânula flutuante como gasômetro, sendo que esta pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação.*

câmara de fermentação de forma homogênea. O biodigestor possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o biogás produzido não é consumido, o gasômetro desloca-se verticalmente, aumentando o volume deste, mantendo, dessa

forma, a pressão constante em seu interior. Do ponto de vista construtivo, apresenta-se de fácil construção, contudo o gasômetro de metal pode encarecer o custo final, e também a distância da propriedade pode dificultar e encarecer o transporte, inviabilizando a implantação deste modelo de biodigestor<sup>12</sup>.

#### 2. Modelo chinês

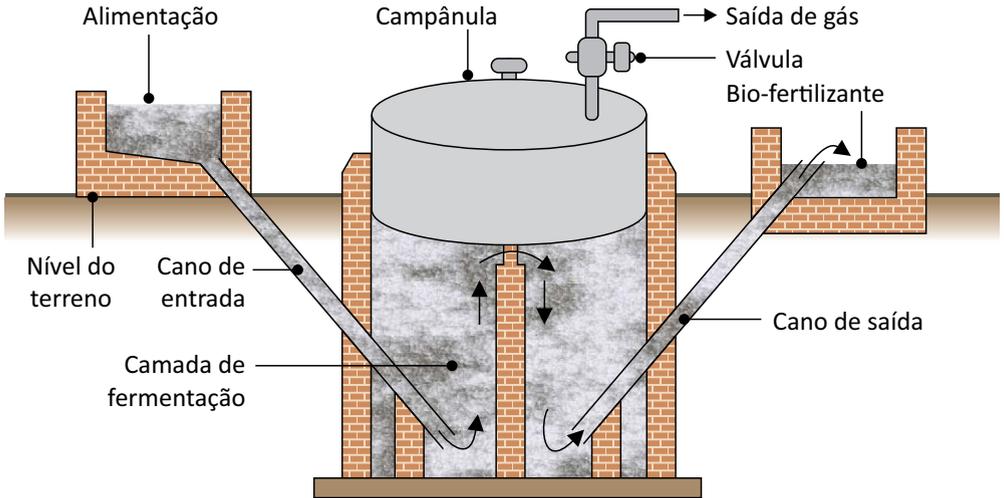
O modelo chinês (Fig. 3) é confeccionado sob a forma de uma câmara de fermentação cilíndrica em alvenaria (tijolo ou blocos), com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás.

Esse biodigestor funciona com pressão hidráulica; o aumento de pressão em seu interior resulta no acúmulo do biogás na câmara de fermentação, induzindo-o para a caixa de saída. O biodigestor é constituído quase que totalmente em alvenaria, dispen-

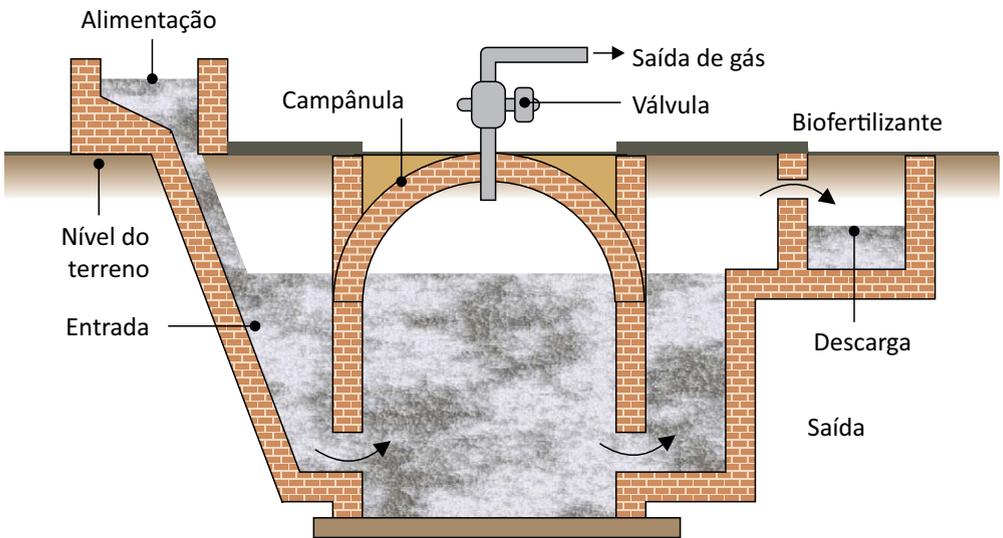
*O modelo chinês é confeccionado sob a forma de uma câmara de fermentação cilíndrica em alvenaria (tijolo ou blocos), com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás.*

sando o uso de gasômetro com chapa de aço e, com isso, obtendo-se uma redução de custos. Porém, podem ocorrer problemas com vazamento do biogás, caso a estrutura não seja bem vedada e

impermeabilizada. Nesse tipo de biodigestor, uma parte do biogás produzido na caixa de saída é liberada na atmosfera, reduzindo em parte a pressão interna do gás, e, devido a isso, tal modelo não



**Figura 2.** Biodigestor indiano.



**Figura 3.** Biodigestor do tipo chinês.



**Figura 4. Biodigestor do tipo canadense ou de fluxo tubular.**

é indicado para instalações de grande porte<sup>12</sup>.

### 3. *Modelo canadense ou de fluxo tubular*

Este modelo de biodigestor (Fig. 4) é mais recente e apresenta uma tecnologia bem mais moderna e avançada, porém menos complexa. É um modelo tipo horizontal, que apresenta uma caixa de carga em alvenaria com a largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita grande produção de biogás e evita o entupimento<sup>10</sup>. Durante a produção de biogás, a cúpula do biodigestor infla porque é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada.

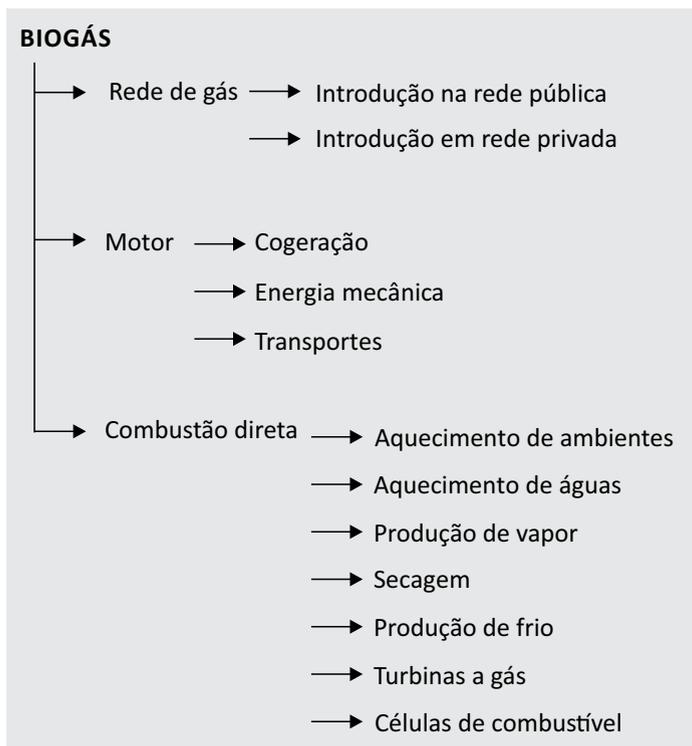
O biodigestor de fluxo tubular é amplamente difundido em propriedades rurais e é, hoje, a tecnologia mais utilizada. Nesse tipo de biodigestor, o biogás pode ser enviado para um gasômetro

separado, permitindo maior controle. Embora este apresente a vantagem de ser de fácil construção, possui menor durabilidade em razão do perfuramento da lona plástica ou do escapamento de gás.

## **Utilização do biogás**

O biogás é um combustível gasoso que apresenta um conteúdo energético semelhante ao gás natural. A Fig. 5 mostra o esquema das possíveis aplicações para utilização / conversão do biogás.

O biogás poderá ser utilizado como uma das seguintes formas de energia: elétrica, térmica ou mecânica. Ele pode ser usado diretamente em equipamentos que funcionam com GLP ou em conjuntos geradores para produção de energia elétrica. Para sua perfeita utilização, os aparelhos devem ser específicos ou adaptados, por se tratar de um gás que será utilizado, geralmente, com flu-



**Figura 5.** Principais opções para utilização/conversão do biogás.

xo de baixa pressão. A adequação, quando necessária, consiste somente em aumentar o diâmetro de vazão do injetor.

Para transformá-lo em energia elétrica, é necessária a utilização de geradores e, para obtenção de energia térmica, é necessário o uso de fornos para que ocorra a queima e sua consequente transformação. Para a utilização em motores à gasolina, é necessário que se faça a conversão para biogás. Ela não exige grandes alterações nos motores, porém modelos específicos

*Para transformá-lo em energia elétrica, é necessária a utilização de geradores e, para obtenção de energia térmica, é necessário o uso de fornos para que ocorra a queima e sua consequente transformação.*

apresentam melhores rendimentos<sup>5</sup>.

A porcentagem de metano confere ao biogás um alto poder calorífico, o qual varia de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico, e, submetido a um alto índice de purificação, pode gerar um índice de até 12.000 kcal por metro cúbico, podendo ser obtido por meio de filtragem do gás pelos chamados filtros úmidos, que consiste na passagem do gás por filtros de água e outros, como os de limalha de ferro.

O poder calorífico do gás influi significativamente sobre a possível aplicação dele.

## **Cogeração de energia elétrica**

Cogeração é a produção combinada de calor e eletricidade, independentemente do processo ou do equipamento utilizado (caldeira com gerador a vapor, grupo motor gerador, turbina, etc.). Para grupos motor-gerador, a eficiência

de conversão em energia elétrica é relativamente reduzida. Dependendo da potência, a eficiência varia entre 25% e 38%, em relação à energia inicial presente no biogás. Geralmente, os motores diesel apresentam rendimentos de 3% a 5% a mais que os motores ciclo Otto, operados a gás<sup>13</sup>.

A cogeração de energia é uma atividade tradicional nas indústrias de processamento de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, e 92% da energia elétrica dessas indústrias provêm desse tipo de sistema, sendo que, na década passada, esse índice atingia somente 60%. Sendo assim, a cogeração é uma excelente opção para o Brasil<sup>14</sup>.

Em propriedades rurais localizadas em áreas afastadas, é comum a falta de acesso à rede elétrica, sendo necessário o uso de geradores a óleo diesel para

*Cogeração é a produção combinada de calor e eletricidade, independentemente do processo ou do equipamento utilizado (caldeira com gerador a vapor, grupo motor gerador, turbina, etc.).*

produção de energia, o que gera altos custos e prejudica o desenvolvimento da região<sup>15</sup>.

Pode-se mencionar o surgimento de tecnologias promissoras, porém não comerciais atualmente, como o da célula de combustível, enquanto as turbinas a

gás e os motores de combustão interna do tipo ciclo Otto são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética.

## Estudo de viabilidade econômica

Randi<sup>16</sup> realizou um estudo sobre a viabilidade da produção de energia elétrica com biogás de dejetos de suínos em granjas. Nesse trabalho, foi realizado um levantamento dos investimentos para implantação de uma planta geradora de

**Tabela 3. Tabela comparativa dos preços de conjuntos geradores**

Potência em regime contínuo (kW)	Consumo (m <sup>3</sup> /hora)	Preço (R\$)	Preço por kWh
72	40	115.222,00	1.600,31
80	44	120.089,00	1.501,11
100	55	140.544,00	1.405,44
120	64	160.000,00	1.333,33
152	79	185.215,00	1.218,52
180	93	200.000,00	1.111,11
200	108	218.000,00	1.090,00
232	118	238.410,00	1.027,63

energia elétrica por meio do biogás em granjas de suínos de ciclo completo e mostrou-se como isso pode influenciar os custos de produção do suinocultor.

Foram estimados os custos adicionais da planta, tais como a construção de um abrigo em alvenaria para o conjunto gerador, o custo das instalações elétricas para conexão à rede local, incluindo painel com chave seletora, instrumentos de medição, transformador e rede de interligação.

O custo do investimento do biodigestor foi desconsiderado, uma vez que ele pode ser financiado e pago com os créditos de carbono gerados. Esse financiamento não tem prazo estipulado para pagamento. Sendo assim, o biodigestor apresenta apenas um custo de manuten-

ção, que será feita pelos próprios funcionários da propriedade, com o valor anual de R\$ 2.000,00.

Outros custos envolvidos para a geração de energia elétrica são o custo da construção do abrigo, estimado em R\$ 5.000,00, e o custo das instalações elétricas para conexão à rede local, incluindo painel com chave seletora, instrumentos de medição e rede de interligação. Esses são estimados em R\$ 15.000,00. Portanto, deverá ser acrescido no custo apresentado na Tab. 3 o montante de R\$ 20.000,00. Na Tab. 4 são apresentados os preços de vários conjuntos geradores de diferentes modelos com potência variando de 72 a 232 kW.

Ao se analisar a Tab. 4, percebe-se que o empreendimento só é viável para

**Tabela 4. Análise de viabilidade em função da quantidade de matrizes do ciclo completo em uma granja**

Nº de matrizes	Potencial energético (kW)	Potência do gerador (kW)	Custo do kWh produzido (R\$)	Relação entre potencial energético e capacidade do gerador	TRI (anos)	Viabilidade (sim/não)
400	61,7	72	0,0830	86%	17,7	N
500	77,1	100	0,0706	77%	14,6	N
600	92,6	120	0,0661	77%	12,7	N
700	108,0	152	0,0594	71%	11,7	S
800	123,4	152	0,0594	81%	9,7	S
900	138,8	180	0,0538	77%	8,8	S
1.000	154,3	180	0,0538	86%	7,6	S
1.100	169,7	200	0,0523	85%	7,4	S
1.200	185,1	232	0,0489	80%	7,2	S
1.300	200,5	232	0,0489	86%	6,5	S

produtores que apresentam um plantel com, no mínimo, 700 matrizes em ciclo completo. Esse produtor tem o potencial energético de 108 kW, que demanda um conjunto gerador de 152 kW em regime contínuo, apresentando uma relação de potencial energético e capacidade em regime contínuo do gerador de 72%. Para esse, o tempo de retorno de investimento (TRI) ocorre em 11,7 anos. Para uma granja de 700 matrizes do ciclo completo, o custo de geração de energia elétrica é de R\$ 0,0594, o que acarreta uma economia anual de R\$ 26.177,57.

O produtor de 1000 matrizes apresenta melhores resultados em relação ao produtor de 700 matrizes, pois possui um potencial energético de 154,3 kW, requerendo um gerador de 180 kW. O investimento para a instalação da planta é de R\$ 220.000,00. O TRI é de 7,6 anos. O preço do quilowatt-hora gerado é de R\$ 0,0538, o que acarretando uma economia anual de R\$ 38.247,18.

## Referências

1. SANT'ANNA JR, G.L. *Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações*. Ed. Interciência Ltda. Rio de Janeiro. 2010. 398 p.
2. CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias* 5. 2 ed. DESA, UFMG. Belo Horizonte. 2007. 380p.
3. BRITES, O.; GAFFEIRA, T. *Biogás*. Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. 2007. 32p.
4. FARRET, F.A. *Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica*. Ed. UFSM. Santa Maria. 1999. 242p.
5. SGANZERLA, E. *Biodigestor: uma solução*. Ed. Agropecuária. Porto Alegre. 1983. 88p.
6. LETTINGA, G.; VAN VALSEN, A.F.M. Use of the upflow sludge blanket (USB) concept for biological wastewater treatment, especially anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*. n.22, p.699-734. 1980.
7. VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente*. Ed. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande. 1994. 208 p.
8. NETO, C.O.A.; CAMPOS, J.R.. *Introdução*. In: Campos Jr.(coordenador). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. PROSAB. Rio de Janeiro. 1999, p.1-28.
9. NOGUEIRA, L.A.H. *Biodigestão: a alternativa energética*. São Paulo: Nobel, 1986.
10. DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. 2a ed. Wiley-VCH. Weinhein. 2010. 578p.
11. GASPAR, R.M.B.L. *Utilização de Biodigestor em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-PR*. 2003. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.
12. PEREIRA, M.F. *Construções Rurais*. Editora Nobel. São Paulo. 1999. 330p.
13. COLDEBELLA, A. *Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais*. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2006.
14. FACCENDA, O.; SOUZA, L.G. A cogeração como alternativa no equacionamento da demanda de energia elétrica. *Energia na Agricultura*. v.12, n.3, p.33-45, 2001.
15. PIMENTEL, V.S.B.; BELCHIOR, C.P.R. *Análise e diagnose de diesel em geradores operando com óleo de dendê*. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo:NIPE/UNICAMP, Campinas – SP, 2002.
16. RANDI, F.H. *Mitigação de gases de efeito estufa através do manejo de dejetos suínos e utilização para cogeração energética*. 2012. 20f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. 2012.