

Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas

Relatório de Pesquisa



Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas

Relatório de Pesquisa

ipea

Governo Federal

Secretaria de Assuntos Estratégicos da

Presidência da República

Ministro Wellington Moreira Franco



Fundação pública vinculada à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Marcelo Cortes Neri

Diretor de Desenvolvimento Institucional

Geová Parente Farias

Diretora de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais

Luciana Acioly da Silva

Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia

Alexandre de Ávila Gomide

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas, Substituto

Claudio Roberto Amitrano

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais

Francisco de Assis Costa

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura

Carlos Eduardo Fernandez da Silveira

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

Jorge Abrahão de Castro

Chefe de Gabinete

Fabio de Sá e Silva

Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação, Substituto

João Cláudio Garcia Rodrigues Lima

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <http://www.ipea.gov.br>

Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas

Relatório de Pesquisa

ipea

Brasília, 2012

FICHA TÉCNICA

Este relatório de pesquisa foi produzido no âmbito dos estudos que subsidiaram a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, coordenados no Ipea por José Aroudo Mota e Albino Rodrigues Alvarez.

Autores

Vania Elisabete Schneider

Denise Peresin

Andréia Cristina Trentin

Taison Anderson Bortolin

Regina Helena Rosa Sambuichi

Este material foi elaborado pelo Ipea como subsídio ao processo de discussão e elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, conduzido pelo Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente. Dado seu caráter preliminar, o conteúdo dos textos e demais dados contidos nesta publicação poderão sofrer alterações em edições posteriores.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| LISTA DE GRÁFICOS | 7 |
| LISTA DE FIGURAS | 7 |
| LISTA DE QUADROS | 7 |
| LISTA DE TABELAS | 7 |
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 OBJETIVO GERAL | 11 |
| 3 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS E UTILIZAÇÃO DO POTENCIAL DE ENERGIA..... | 12 |
| 4 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DOS RESÍDUOS GERADOS NAS ATIVIDADES AGROSSILVOPASTORIS | 96 |
| 5 LEGISLAÇÃO | 106 |
| 6 PLANOS E PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS..... | 111 |
| 7 ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS..... | 115 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 118 |
| REFERÊNCIAS | 120 |

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Potencial para geração de metano (CH₄) a partir dos dejetos das principais criações de animais confinados – grandes regiões (2009)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia produtiva do setor florestal madeireiro

Figura 2 – Etapas da industrialização e resíduos de madeira

Figura 3 – Maneiras de valorização do resíduo de madeira

Figura 4 – Impactos positivos dos resíduos agrossilvopastoris

Figura 5 – Impactos negativos dos resíduos na agroindústria associada à agricultura

Figura 6 – Rede de impactos decorrentes da geração de resíduos em criações animais

Figura 7 – Rede de impactos decorrentes da geração de resíduos e efluentes das agroindústrias primárias associadas à pecuária

Figura 8 – Rede de impactos negativos provocados pela geração de resíduo florestal

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Possibilidades de aproveitamento dos resíduos

Quadro 2 – Comparação entre diferentes fontes energéticas e biogás

Quadro 3 – Uso tradicional dos resíduos de madeira

Quadro 4 – Categorias de resíduos definidas pela legislação alemã (Portaria da Madeira)

Quadro 5 – Programas de Financiamento Florestal

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Culturas permanentes mais representativas – grandes regiões e Brasil (2009)

Tabela 2 – Culturas temporárias mais representativas – grandes regiões e Brasil

Tabela 3 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados pelo processamento da soja (2009)

Tabela 4 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados pelo processamento do milho (2009)

Tabela 5 – Produção de resíduos no processamento da cana-de-açúcar

Tabela 6 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados pelo processamento da cana-de-açúcar – (2009) (bagaço e torta de filtro)

Tabela 7 – Produção total da cultura e geração de resíduos (vinhaça) no processamento da cana-de-açúcar (2009)

Tabela 8 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do feijão (2009)

Tabela 9 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do arroz (2009)

Tabela 10 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do trigo (2009)

Tabela 11 – Dados da cultura da mandioca (2009)

Tabela 12 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do café (2009)

Tabela 13 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do cacau (2009)

Tabela 14 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento da banana (2009)

Tabela 15 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento da laranja (2009)

Tabela 16 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do coco-da-baía (2009)

Tabela 17 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento da castanha-de-caju (2009)

Tabela 18 – Dados do consumo de uva (2006-2009)

Tabela 19 – Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento da uva para o ano de 2009

Tabela 20 – Geração de resíduos na agroindústria para as principais culturas brasileiras (2009)

Tabela 21 – Poder calorífico dos resíduos das principais culturas

Tabela 22 – Potencial energético dos resíduos gerados na agroindústria das principais culturas brasileiras (2009)

Tabela 23 – Potencial energético da cana-de-açúcar (vinhaça)

Tabela 24 – Quantidade de vinhaça que seria necessária para fertirrigação da área plantada com cana-de-açúcar (2009)

Tabela 25 – Rebanho efetivo das principais criações – Brasil e grandes regiões

Tabela 26 – Produção média de dejetos de animal vivo

Tabela 27 – Quantidade de frango exportado por região do Brasil

Tabela 28 – Dados sobre o frango produzido para o mercado nacional

Tabela 29 – Dados sobre o frango produzido para exportação

Tabela 30 – Dados das aves de postura

Tabela 31 – Dados do rebanho de novilhos e novilhas

Tabela 32 – Dados do rebanho de bois e vacas

Tabela 33 – Dados do rebanho de vitelos e vitelas

Tabela 34 – Dados do rebanho de suínos

Tabela 35 – Produção de frangos de corte para o mercado nacional e exportação – Brasil e regiões

Tabela 36 – Geração de dejetos de frangos de corte – Brasil e regiões (2009)

Tabela 37 – Rebanho e geração de dejetos de galinhas (aves de postura) – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 38 – Produção de bovinos de corte e vacas ordenhadas – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 39 – Geração de dejetos das vacas ordenhadas – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 40 – Geração de dejetos dos bovinos de corte – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 41 – Produção de suínos e geração de dejetos – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 42 – Quantidade de dejetos gerados pelas principais criações animais – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 43 – Geração total de dejetos animais e de dejetos aproveitáveis para biodigestão – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 44 – Quantidade de aves e suínos abatidos e peso vivo (PV) dos suínos – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 45 – Quantidade de bovinos abatidos e produção de leite – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 46 – Quantidades de resíduos sólidos gerados na produção diária de um abatedouro de frangos

Tabela 47 – Quantidades de resíduos líquidos gerados na produção diária de um abatedouro de frangos

Tabela 48 – Quantidade de resíduos gerados em abatedouro de aves

Tabela 49 – Geração de resíduos em abatedouros de bovinos e suínos

Tabela 50 – Consumo de água para o abate de suínos e bovinos

Tabela 51 – Consumo de águas em graxarias

Tabela 52 – Estimativa dos resíduos gerados nos abatedouros de aves – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 53 – Estimativa dos resíduos gerados nos abatedouros de bovinos – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 54 – Estimativa dos resíduos gerados nos abatedouros de suínos – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 55 – Total de resíduos gerados nos abatedouros com potencial de serem processados em graxarias

Tabela 56 – Consumo mínimo e máximo de água em graxarias

Tabela 57 – Estimativa da quantidade de efluentes gerados em laticínios – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 58 – Total de resíduos sólidos potencialmente aproveitáveis para geração de energia gerados pelas indústrias primárias ligadas ao setor pecuário – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 59 – Total de efluentes gerados pelas indústrias primárias ligadas ao setor pecuário – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 60 – Valores de conversão energética para diferentes tipos de efluentes

Tabela 61 – Geração de metano a partir da geração de dejetos de aves de postura e corte (2009)

Tabela 62 – Geração de metano a partir da geração de dejetos de suínos – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 63 – Geração de metano a partir da geração de dejetos de bovinos de leite – Brasil e grandes regiões (2009)

Tabela 64 – Estimativa da geração de potência útil (kW/ano) a partir do biogás gerado pelos dejetos das aves (corte e postura), suínos e bovinos de leite para o ano de 2009

Tabela 65 – Estimativa do total de energia (kWh/ano) que poderia ser gerada pelos dejetos das criações animais mais representativas, e estimativa da população que poderia ser atendida por mês – Brasil e grandes regiões

Tabela 66 – Estimativa do potencial de geração de metano a partir dos efluentes gerados nas agroindústrias primárias associadas à criação animal para o ano de 2009

Tabela 67 – Estimativa do potencial de geração de metano a partir dos dejetos gerados nos abatedouros de suínos e bovinos (2009)

Tabela 68 – Estimativa do potencial de energia elétrica que poderia ser gerado pelos efluentes das agroindústrias primárias associadas a criação animal e dejetos de abatedouros de bovinos e suínos (2009)

Tabela 69 – Áreas total de florestas plantadas por grupo de espécies no Brasil (2009)

Tabela 70 – Produção de madeira provinda da silvicultura e extrativismo (2009)

Tabela 71 – Geração de resíduo florestal lenhoso (2009)

Tabela 72 – Geração de resíduo do processamento mecânico da madeira

Tabela 73 – Geração de resíduo da cadeia florestal – colheita e processamento mecânico (2009)

Tabela 74 – Quantidades de resíduos de madeira e derivados gerados nas empresas visitadas

Tabela 75 – Estimativa dos volumes mensais dos resíduos gerados por classe de matéria-prima e por município nas empresas visitadas

Tabela 76 – Potencial de geração de energia a partir de resíduos madeireiros (2009)

Tabela 77 – Resumo dos dados de produção, geração de resíduos e potencial energético da agroindústria associada à agricultura (2009)

Tabela 78 – Resumo dos dados de produção, geração de resíduos e potencial energético da pecuária e agroindústrias associadas (2009)

Tabela 79 – Resumo dos dados de produção, geração de resíduos e potencial energético da silvicultura

Tabela 80 – Matriz energética brasileira do tipo biomassa

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é subsidiar a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, previsto na Lei nº 12.305/10 (Brasil, 2010a), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. O estudo envolveu levantamento de dados acerca da situação atual de geração de resíduos no segmento agrossilvopastoril e agroindústrias primárias associadas, visando auxiliar na formulação e reformulação de políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro.

Com base nos dados da produção de 2009 (IBGE, 2010), foram feitas estimativas dos montantes de resíduos orgânicos gerados pelas atividades da agricultura, pecuária, silvicultura e agroindústrias associadas, e do potencial energético destes resíduos. Foram avaliadas as principais culturas agrícolas brasileiras, segregadas em culturas temporárias e permanentes, as principais criações animais e os resíduos resultantes da produção madeireira. Os resultados apresentados poderão servir de base para uma melhor avaliação dos impactos ambientais do setor e para a análise de possibilidades econômicas de utilização dos resíduos para adubação orgânica, nutrição animal e geração de energia por meio de reaproveitamento da biomassa, subsidiando a elaboração de planos de redução, reutilização e reciclagem dos resíduos gerados.

As seções foram estruturadas com introdução (considerações gerais), escopo e limitações do estudo, metodologia, resultados e considerações acerca dos resultados. Na introdução são apresentadas informações gerais sobre o tema que será abordado (agricultura, pecuária, silvicultura e agroindústrias associadas). No escopo e limitações do estudo são descritas as dificuldades encontradas para a execução do estudo. Os dados e a descrição dos métodos utilizados para os cálculos da geração de resíduos e utilização potencial na geração de energia são demonstrados na metodologia. Os resultados são apresentados para Brasil, regiões e quando possível por estado. No item referente às considerações acerca dos resultados, é realizada uma breve análise. São apresentados também capítulos específicos que tratam sobre os impactos ambientais dos resíduos, planos e programas existentes e legislação atual sobre o tema, finalizando com uma análise integrada dos resultados e considerações finais acerca da problemática como um todo, elencando algumas sugestões para o encaminhamento desta questão no Brasil.

2 OBJETIVO GERAL

Este relatório tem como objetivo principal, realizar o diagnóstico da geração de resíduos nos setores da agricultura pecuária, silvicultura e agroindústria primárias associadas, visando subsidiar a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

2.1 Objetivos específicos

- Identificar e quantificar os resíduos, rejeitos e subprodutos gerados na agricultura, pecuária, silvicultura e agroindústrias primárias associadas;
- quantificar o potencial total de geração de energia a partir dos resíduos gerados (biomassa);
- identificar os impactos ambientais potenciais dos resíduos gerados, mostrando os principais problemas atuais e futuros;
- fazer um levantamento sobre a legislação existente para o setor, identificando eventuais conflitos entre os instrumentos legais, resolutivos e normativos, propondo sugestões para sua resolução;
- identificar os programas governamentais existentes relacionados ao tema; e

- analisar o cenário brasileiro e regional em relação à geração de resíduos e ao seu potencial energético, à legislação pertinente e aos impactos potenciais decorrentes das atividades geradoras.

3 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS E UTILIZAÇÃO DO POTENCIAL DE ENERGIA

Nesta seção apresentam-se os dados referentes à quantificação e ao tipo de resíduo gerado em cada setor, destinação e utilização atual, além da possibilidade de utilização em outras atividades, bem como o potencial energético gerado a partir da utilização dos resíduos.

3.1 Agricultura e agroindústrias associadas

3.1.1 Considerações gerais

O Brasil se destaca na produção agrícola, sendo este um dos setores econômicos mais estratégicos para a consolidação do programa de estabilização da economia. A grande participação e o forte efeito multiplicador do complexo agroindustrial no produto interno bruto (PIB), o alto peso dos produtos de origem agrícola (básicos, semielaborados e industrializados) na pauta de exportações e a contribuição para o controle da inflação são exemplos da importância da agricultura para o desempenho da economia brasileira (Pessoa, 2009).

Em 2010, o agronegócio brasileiro (insumos, agricultura, agroindústria e distribuição) foi responsável por 15,74% do PIB nacional, o valor movimentado pelo setor passou de R\$ 423,46 bilhões, em 2000, para R\$ 578,39 bilhões em 2010 (Cepea, 2010). Com o crescimento da produção, o Brasil vem se firmando como um dos principais fornecedores no mercado internacional de alimentos, e esta participação tende a continuar crescendo. Segundo projeção do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2010c), a taxa anual média de crescimento da produção de lavouras entre os anos de 2010 e 2020 deverá ser de 2,67%. Esta projeção indica que o Brasil terá, em 2021, uma produção de grãos superior a 195 milhões de toneladas (t), numa área pouco superior a 50,7 milhões de hectares (ha) (Rossi, 2011).

Com a modernização da agricultura, a produção de alimentos ampliou-se, e os sistemas agrícolas ficaram mais intensivos. Desta forma, surgiu um novo segmento industrial, responsável pelo processamento da produção primária de alimentos, a chamada agroindústria. Segundo Spadotto e Ribeiro (2006), a agroindústria constitui um dos principais segmentos da economia brasileira, com importância tanto no abastecimento interno como na exportação.

Os dados demonstram que a história recente da nossa agricultura se traduz em benefícios ao país, com geração de empregos, maior contribuição ao desenvolvimento, mais alimentos e riqueza; entretanto, também com maiores impactos ao meio ambiente. Um dos problemas atuais na agricultura e agroindústria associada é a pouca preocupação do setor em geral em relação à geração de resíduos e seu posterior destino e/ou tratamento. Os resíduos gerados nestas atividades são potencialmente impactantes ao meio ambiente, caso não sejam devidamente tratados. Os impactos ambientais associados a estes resíduos decorrem da alta geração em termos quantitativos e da lenta degradabilidade em certos casos, e, em outros, da geração de subprodutos que podem ser tóxicos, cumulativos ou de difícil degradação. Reduzir, reciclar, ou reaproveitar os resíduos gerados com o objetivo de recuperar matéria e energia objetivam, fundamentalmente, preservar os recursos naturais e evitar a degradação ambiental (Straus e Menezes, 1993 *apud* Malheiros e Paula Júnior, 1997).

Por sua vez, a produção agrícola brasileira é muito dependente da importação de fertilizantes. O Brasil importa cerca de 70% das matérias-primas utilizadas para a fabricação dos fertilizantes químicos usados em seus cultivos (Rodrigues, 2010), estando em quarto lugar no *ranking* dos consumidores mundiais de nutrientes para a formulação de fertilizantes. Conforme dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (Anda, 2011), foram comercializadas no Brasil, em 2010, mais de 24,5 milhões de t de fertilizantes, 80% destes para atender às demandas das culturas da soja, cana-de-açúcar, milho, café e algodão. Esta demanda tende a crescer com o aumento da produção agrícola. No período janeiro-agosto de 2011, foram entregues ao consumidor final 17,0 milhões de t de fertilizantes, mostrando um crescimento de 25,6% em relação ao mesmo período de 2010, quando foram entregues 13,6 milhões de t.

O reaproveitamento da biomassa remanescente dos processos empregados na agricultura e agroindústria, além de evitar a acumulação dos resíduos, contribuindo para o controle da poluição e proporcionando melhores condições de saúde pública, é também fundamental para reduzir a dependência de fertilizantes químicos importados e viabilizar a sustentabilidade do crescimento da produção agrícola. A utilização destes resíduos para adubação permite a recuperação de elementos valiosos presentes nos resíduos, tais como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e elementos traço. Além disso, a adição de matéria orgânica ao solo contribui para melhorar sua estrutura física e sua capacidade de absorção de água e de fornecimento de nutrientes para as plantas, viabilizando o aumento da produção e a melhoria da qualidade dos alimentos (Polprasert, 1992 *apud* Malheiros e Paula Júnior, 1997).

Os resíduos do setor agrícola podem, ainda, ser aproveitados para alimentação animal, além de servirem como insumo para outros produtos. A geração de energia é também uma importante possibilidade de uso para alguns resíduos, podendo contribuir como fonte renovável para a matriz energética brasileira. Nesse contexto, buscou-se, neste relatório, levantar os montantes de resíduos gerados pelas agroindústrias associadas ao setor agrícola, visando gerar subsídios para a elaboração de políticas que busquem promover alternativas de reaproveitamento destes resíduos, objetivando a recuperação de matérias-primas, a reciclagem da matéria orgânica, a geração de energia e a minimização dos impactos ambientais decorrentes destas atividades.

3.1.2 Geração de resíduos na agricultura e agroindústria

Escopo e limitações do estudo

Neste item, foram levantados dados sobre a produção agrícola brasileira com vistas a estimar os montantes de resíduos sólidos orgânicos gerados nas atividades da agricultura, bem como nas agroindústrias associadas. Durante a realização do trabalho, porém, foi verificado não ser possível estimar a parcela dos resíduos orgânicos gerados nas atividades de cultivo e colheita da produção em campo, pois não foram encontrados estudos consistentes que permitam quantificá-la. Os únicos dados disponíveis foram a quantidade de hectares plantados e colhidos e a produção total – o que indica possíveis perdas de colheita –, e não os montantes totais dos resíduos provenientes da lavoura. Conforme Matos (2005), a produção de resíduos agrícolas é extremamente variável, dependendo da espécie cultivada, do fim a que se destina, das condições de fertilidade do solo, condições climáticas, entre outros fatores.

O fato de esse montante não ter sido estimado, porém, não afeta a avaliação do potencial de geração de energia a partir da biomassa feita neste estudo, uma vez que os resíduos orgânicos gerados diretamente nas atividades da agricultura são, via de regra, utilizados nos locais de produção como complemento nutricional (composto orgânico), intencionalmente

ou não, não sendo indicada a sua utilização para a geração de energia. Os restos vegetais resultantes da colheita devem permanecer no local de plantio, de forma a reincorporar os nutrientes resultantes da degradação ao solo. A retirada desta biomassa para geração de energia ou outras utilizações teria maior impacto que a própria geração destes resíduos, visto que empobreceria o solo, geraria custos com transporte para tratamento e/ou disposição dos resíduos, resultando, ainda, em uma maior demanda por fertilizantes químicos. O abandono da biomassa gerada nas lavouras, além de retornar certos nutrientes ao solo, preserva a umidade, incrementando e preservando igualmente a biota associada.

Neste estudo, não foi possível coletar dados primários sobre a porcentagem de resíduos gerados para cada tipo de processamento realizado nas agroindústrias associadas. Sendo assim, foram utilizados dados publicados em pesquisas desenvolvidas no país sobre o tema. Para a cultura da mandioca, não foram encontrados dados na literatura e, sendo assim, não foi possível estimar os montantes de resíduos gerados na agroindústria para esta cultura.

Metodologia

Para determinar a produção das diferentes culturas agrícolas no Brasil e o posterior cálculo da geração de resíduos, foram utilizados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sobre a produção de 2009 (IBGE, 2010), tratando-se dos dados mais completos e atuais disponíveis no início da pesquisa, em 2011. Com base nestes dados, definiram-se as lavouras de maior representatividade considerando-se sua área de produção, absoluta e percentual, por região e para o total do Brasil, tanto para as culturas permanentes (tabela 1) como para as culturas temporárias (tabela 2). Entre as culturas permanentes, foram selecionados: o café (em grão), o cacau (amêndoas), a banana (cacho), a laranja, o coco-da-baía, a castanha-de-caju e a uva. Quanto às culturas temporárias, por sua vez, foram selecionados: a soja (em grão), o milho (em grão), a cana-de-açúcar, o feijão (em grão), o arroz (em casca), o trigo (em grão) e a mandioca.

O peso dos resíduos gerados para cada produto processado nas agroindústrias associadas às principais culturas foi estimado a partir de dados encontrados na literatura. Com estes dados, foi estimado o fator residual, o qual representa a porcentagem da biomassa total correspondente aos resíduos gerados durante o processamento dos produtos. Aplicando este fator residual à parcela da produção das culturas processadas na agroindústria, obtida também em consultas à literatura, estimou-se o montante de resíduos gerados.

TABELA 1
Culturas permanentes mais representativas – grandes regiões e Brasil (2009)

| Culturas | Norte | | Nordeste | | Sudeste | | Sul | | Centro-Oeste | | Brasil | |
|------------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| | Área plantada | | Área plantada | | Área plantada | | Área plantada | | Área plantada | | Área plantada | |
| | (ha) | (%) |
| Café | 171.935 | 33,66 | 166.430 | 6,53 | 1.687.147 | 63,32 | 85.323 | 19,57 | 34.966 | 26,51 | 2.145.805 | 33,12 |
| Cacau | 100.257 | 19,63 | 549.769 | 21,59 | 20.987 | 0,79 | - | 0 | 1.422 | 1,08 | 672.435 | 10,69 |
| Banana | 77.310 | 15,14 | 196.449 | 7,71 | 135.189 | 5,07 | 53.310 | 12,23 | 21.304 | 16,15 | 483.562 | 7,69 |
| Laranja | 18.463 | 3,61 | 118.389 | 4,65 | 603.467 | 22,65 | 54.528 | 12,51 | 7.681 | 5,82 | 802.528 | 12,76 |
| Coco-da-baía | 30.353 | 5,94 | 228.911 | 8,99 | - | 0 | 189 | 0,04 | 3.934 | 2,98 | 284.951 | 4,53 |
| Castanha-de-caju | 3.153 | 0,62 | 770.415 | 30,25 | - | 0 | - | 0 | 1.657 | 1,26 | 775.225 | 12,32 |
| Uva | 37 | 0,01 | 9.939 | 0,39 | 12.129 | 0,46 | 59.227 | 13,58 | 345 | 0,26 | 81.677 | 1,3 |

Fonte: IBGE (2010).
Elaboração dos autores.

TABELA 2
Culturas temporárias mais representativas – grandes regiões e Brasil (2009)

| | Norte | | Nordeste | | Sudeste | | Sul | | Centro-Oeste | | Brasil | |
|----------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| | Área plantada | | Área plantada | | Área plantada | | Área plantada | | Área plantada | | Área plantada | |
| | (ha) | (%) |
| Soja | 500.050 | 22,85 | 1.638.637 | 15,42 | 1.423.672 | 13,41 | 8.285.716 | 42,62 | 9.913.707 | 60,19 | 21.761.782 | 36,67 |
| Milho | 523.232 | 23,91 | 3.126.736 | 29,42 | 2.105.154 | 19,83 | 4.840.289 | 24,90 | 3.548.910 | 21,55 | 14.144.321 | 23,84 |
| Cana-de-açúcar | 33.067 | 1,51 | 1.202.426 | 11,31 | 5.818.740 | 54,81 | 649.705 | 3,34 | 1.052.638 | 6,39 | 8.756.576 | 14,76 |
| Feijão | 165.085 | 7,54 | 2.317.806 | 21,81 | 600.512 | 5,66 | 889.592 | 4,58 | 304.679 | 1,85 | 4.277.674 | 7,21 |
| Arroz | 392.427 | 17,93 | 714.466 | 6,72 | 77.051 | 0,73 | 1.303.230 | 6,70 | 418.028 | 2,54 | 2.905.202 | 4,90 |
| Trigo | - | 0,00 | - | 0,00 | 82.725 | 0,78 | 2.285.758 | 11,76 | 70.295 | 0,43 | 2.438.778 | 4,11 |
| Mandioca | 493.407 | 22,54 | 819.069 | 7,71 | 127.682 | 1,20 | 273.348 | 1,41 | 83.460 | 0,51 | 1.796.966 | 3,03 |

Fonte: IBGE (2010).
Elaboração dos autores.

Resultados

1) Culturas temporárias

a) Soja

A soja corresponde a 49% da área plantada em grãos no país, sendo a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas. O aumento da produtividade está associado principalmente aos avanços tecnológicos, ao manejo e à eficiência dos processos produtivos. O grão é o componente essencial na fabricação de rações animais, e o uso na alimentação humana encontra-se em franco crescimento (Brasil, 2010b).

Conforme Matos (2005), estima-se que a cultura da soja produza cerca de 2.700 t de resíduos para cada 1 mil t de grãos processados. Assim, pode-se considerar que, no processamento da cultura da soja, são gerados 73% de resíduos.

Na tabela 3, são apresentados os dados de área plantada, área colhida, produção colhida e o montante estimado de resíduos gerados na agroindústria da soja no ano de 2009. É possível observar que o estado do Mato Grosso foi o maior gerador de resíduos no Brasil, alcançando um montante de 13.112.858 t/ano. Ao se analisarem as grandes regiões, nota-se a participação do Centro-Oeste, com mais da metade da produção nacional (51%), seguida da região Sul, com o Paraná e o Rio Grande do Sul em destaque.

TABELA 3
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados pelo processamento da soja (2009)

| Unidades da Federação (UFs) e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|---|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Rondônia | 111.426 | 111.426 | 356.836 | 260.490 |
| Acre | 50 | 50 | 165 | 120 |
| Amazonas | 204 | 204 | 612 | 447 |
| Roraima | 1.400 | 1.400 | 3.920 | 2.862 |
| Pará | 71.410 | 71.410 | 206.456 | 150.713 |
| Amapá | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tocantins | 315.560 | 315.560 | 875.428 | 639.062 |
| Norte | 500.050 | 500.050 | 1.443.417 | 1.053.694 |

(Continua)

(Continuação)

| Unidades da Federação (UFs) e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|---|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Maranhão | 409.402 | 409.402 | 1.211.085 | 884.092 |
| Piauí | 277.272 | 276.672 | 780.580 | 569.823 |
| Ceará | 975 | 975 | 3.315 | 2.420 |
| Rio Grande do Norte | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paraíba | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pernambuco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Alagoas | 68 | 68 | 164 | 120 |
| Sergipe | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bahia | 950.920 | 950.920 | 2.426.298 | 1.771.198 |
| Nordeste | 1.638.637 | 1.638.037 | 4.421.442 | 3.227.653 |
| Minas Gerais | 929.121 | 928.708 | 2.751.431 | 2.008.545 |
| Espírito Santo | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio de Janeiro | 0 | 0 | 0 | 0 |
| São Paulo | 494.551 | 494.273 | 1.327.105 | 968.787 |
| Sudeste | 1.423.672 | 1.422.981 | 4.078.536 | 2.977.331 |
| Paraná | 4.077.052 | 4.077.052 | 9.408.991 | 6.868.563 |
| Santa Catarina | 385.418 | 385.418 | 993.991 | 725.613 |
| Rio Grande do Sul | 3.823.246 | 3.821.936 | 8.025.322 | 5.858.485 |
| Sul | 8.285.716 | 8.284.406 | 18.428.304 | 13.452.662 |
| Mato Grosso do Sul | 1.717.436 | 1.708.723 | 4.046.223 | 2.953.743 |
| Mato Grosso | 5.831.468 | 5.831.468 | 17.962.819 | 13.112.858 |
| Goiás | 2.315.888 | 2.315.888 | 6.809.187 | 4.970.707 |
| Distrito Federal | 48.915 | 48.915 | 155.454 | 113.481 |
| Centro-Oeste | 9.913.707 | 9.904.994 | 28.973.683 | 21.150.789 |
| Brasil | 21.761.782 | 21.750.468 | 57.345.382 | 41.862.129 |

Fonte: IBGE (2010), Brasil (2010c) e Matos (2005).
Elaboração dos autores

b) Milho

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Mapa (Brasil, 2010c), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, totalizando 53,2 milhões de t na safra 2009-2010, tendo como principal destino da produção as indústrias de rações para animais. O milho é também transformado em óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais. De acordo com a Embrapa (s.d.), no Brasil, apenas 5% do milho produzido se destina ao consumo humano.

Conforme a Associação Brasileira de Indústrias da Biomassa – ABIB (2011), os resíduos do processamento do milho são constituídos da palha e do sabugo, totalizando um fator residual de 58%.

Na tabela 4 constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida e o montante estimado de resíduos gerados na agroindústria do milho em 2009. Observa-se que o estado do Paraná foi o maior gerador de resíduos – um montante de 6.546.969 t/ano. Ao analisar as grandes regiões, nota-se a similaridade de geração das regiões Sul e Centro-Oeste, com participação de 37% e 31%, respectivamente.

TABELA 4
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados pelo processamento do milho (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Rondônia | 153.691 | 153.691 | 368.819 | 213.915 |
| Acre | 27.903 | 27.583 | 57.293 | 33.230 |
| Amazonas | 12.200 | 12.200 | 29.252 | 16.966 |
| Roraima | 6.500 | 6.400 | 12.800 | 7.424 |
| Pará | 244.564 | 240.387 | 552.104 | 320.220 |
| Amapá | 3.500 | 3.468 | 2.850 | 1.653 |
| Tocantins | 74.874 | 74.874 | 250.451 | 145.262 |
| Norte | 523.232 | 518.603 | 1.273.569 | 738.670 |
| Maranhão | 357.417 | 349.669 | 524.178 | 304.023 |
| Piauí | 329.893 | 320.812 | 496.279 | 287.842 |
| Ceará | 714.034 | 691.632 | 538.962 | 312.598 |
| Rio Grande do Norte | 90.735 | 65.750 | 42.282 | 24.524 |
| Paraíba | 191.901 | 181.830 | 101.241 | 58.720 |
| Pernambuco | 308.937 | 282.687 | 193.059 | 111.974 |
| Alagoas | 70.500 | 68.350 | 42.382 | 24.582 |
| Sergipe | 172.941 | 172.941 | 703.294 | 407.911 |
| Bahia | 890.378 | 759.603 | 2.157.719 | 1.251.477 |
| Nordeste | 3.126.736 | 2.893.274 | 4.799.396 | 2.783.650 |
| Minas Gerais | 1.288.434 | 1.278.299 | 6.536.545 | 3.791.196 |
| Espírito Santo | 37.671 | 37.671 | 97.139 | 56.341 |
| Rio de Janeiro | 7.809 | 7.759 | 19.023 | 11.033 |
| São Paulo | 771.240 | 768.410 | 3.674.059 | 2.130.954 |
| Sudeste | 2.105.154 | 2.092.139 | 10.326.766 | 5.989.524 |
| Paraná | 2.806.026 | 2.740.715 | 11.287.878 | 6.546.969 |
| Santa Catarina | 648.509 | 648.509 | 3.244.500 | 1.881.810 |
| Rio Grande do Sul | 1.385.754 | 1.318.854 | 4.186.862 | 2.428.380 |
| Sul | 4.840.289 | 4.708.078 | 18.719.240 | 10.857.159 |
| Mato Grosso do Sul | 936.912 | 838.234 | 2.181.429 | 1.265.229 |
| Mato Grosso | 1.665.470 | 1.662.920 | 8.181.984 | 4.745.551 |
| Goiás | 906.250 | 906.250 | 4.980.614 | 2.888.756 |
| Distrito Federal | 40.278 | 40.278 | 282.998 | 164.139 |
| Centro-Oeste | 3.548.910 | 3.447.682 | 15.627.025 | 9.063.675 |
| Brasil | 14.144.321 | 13.659.776 | 50.745.996 | 29.432.678 |

Fonte: IBGE (2010), Brasil (2010c) e ABIB (2011).
Elaboração dos autores

c) Cana-de-açúcar

Segundo Souza e Santos (2002), o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, produzindo em torno de 24% do total mundial, em aproximadamente 4 milhões de ha. Além de ser o maior produtor de cana, é também o primeiro na produção de açúcar e etanol, conquistando cada vez mais o mercado externo com o uso do bicomcombustível como alternativa energética. Responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo, o país deve colher 47,34 milhões de t do produto neste próximo ciclo, o que corresponde a um acréscimo de 14,6 milhões de t em relação ao período 2007-2008 (Brasil, 2010c).

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, s.d.), a cana é cultivada em países tropicais e subtropicais para obtenção do açúcar, do álcool e da aguardente. Entretanto, depois de transformada em produto, a cana-de-açúcar gera resíduos – em geral, o bagaço, a vinhaça, torta de filtro (resíduo da filtragem do caldo de cana) e a cinza do bagaço, produzida pela queima deste. Segundo Spadotto e Ribeiro (2006), para cada tonelada de cana moída ou esmagada na unidade industrial, se obtêm em média 120 kg de açúcar e mais 14 litros de álcool, ou 80 litros de álcool no caso de destilarias. As estimativas de geração de resíduos do setor são apresentadas na tabela 5. Para a quantidade de cana esmagada e consequente obtenção de produtos, são obtidos cerca de 100 a 400 kg de torta de filtro, 800 a 1 mil litros de vinhaça e 260 kg de bagaço de cana. Para Silva *et al.* (2007), estima-se que o bagaço proveniente da agroindústria da cana seja de aproximadamente 280 kg por tonelada de cana moída (30% do total).

Na tabela 6 constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida e os montantes estimados de resíduos gerados no processamento da cana-de-açúcar nos estados e nas regiões do país, com base na estimativa da geração de bagaço e torta de filtro pela agroindústria no ano de 2009. É possível observar que o estado de São Paulo é o maior gerador de resíduos, produzindo um montante de 116 milhões de t/ano. Ao se analisar as grandes regiões, nota-se a supremacia do Sudeste, com 68% do total do país.

A agroindústria da cana-de-açúcar gera, ainda, após a destilação fracionada do caldo da cana, um resíduo pastoso, chamado de vinhaça ou vinhoto. Na tabela 7 são apresentados os dados da geração deste tipo de resíduo. Como se pode perceber, mais uma vez, o estado de São Paulo é o maior gerador, com 350.040.508 m³/ano, por também ser o maior produtor nacional de cana-de-açúcar.

TABELA 5
Produção de resíduos no processamento da cana-de-açúcar

| Número de unidades produtoras | Produção de açúcar (t) | Produção de álcool (L) |
|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 324 | 24.820 milhões | 14.720 milhões |
| Produção de cana | Produção de resíduos | |
| 1 t | Vinhaça (L) | Torta de filtro (kg) |
| | 800 a 1.000 | 100 a 400 |
| 357 milhões de t | Vinhaça (m ³) | Torta de filtro (t) |
| | 285 a 357 milhões | 35 a 142 milhões |
| | | Bagaço (kg) |
| | | 260 |
| | | Bagaço (t) |
| | | 92 milhões |

Fonte: Spadotto e Ribeiro (2006).

TABELA 6
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados pelo processamento da cana-de-açúcar – bagaço e torta de filtro (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Rondônia | 4.220 | 4.220 | 253.277 | 75.983 |
| Acre | 2.541 | 773 | 38.650 | 11.595 |
| Amazonas | 6.050 | 6.050 | 368.050 | 110.415 |
| Roraima | 559 | 399 | 1.376 | 413 |
| Pará | 9.973 | 9.773 | 698.845 | 209.654 |
| Amapá | 70 | 70 | 1.395 | 419 |
| Tocantins | 9.654 | 8.651 | 664.284 | 199.285 |
| Norte | 33.067 | 29.936 | 2.025.877 | 607.763 |

(Continua)

(Continuação)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Maranhão | 46.112 | 46.072 | 2.824.701 | 847.410 |
| Piauí | 12.866 | 12.866 | 859.513 | 257.854 |
| Ceará | 42.706 | 42.706 | 2.323.937 | 697.181 |
| Rio Grande do Norte | 67.597 | 67.582 | 4.259.996 | 1.277.999 |
| Paraíba | 122.888 | 122.888 | 6.302.570 | 1.890.771 |
| Pernambuco | 352.276 | 352.276 | 19.445.241 | 5.833.572 |
| Alagoas | 434.005 | 434.005 | 26.804.130 | 8.041.239 |
| Sergipe | 41.931 | 41.931 | 2.607.155 | 782.147 |
| Bahia | 82.045 | 82.045 | 4.630.196 | 1.389.059 |
| Nordeste | 1.202.426 | 1.202.371 | 70.057.439 | 21.017.232 |
| Minas Gerais | 715.628 | 715.628 | 58.384.105 | 17.515.232 |
| Espírito Santo | 80.162 | 80.162 | 5.249.775 | 1.574.933 |
| Rio de Janeiro | 135.130 | 135.130 | 6.481.715 | 1.944.515 |
| São Paulo | 4.887.820 | 4.687.325 | 388.933.898 | 116.680.169 |
| Sudeste | 5.818.740 | 5.618.245 | 459.049.493 | 137.714.848 |
| Paraná | 595.371 | 595.371 | 53.831.791 | 16.149.537 |
| Santa Catarina | 17.646 | 17.177 | 699.068 | 209.720 |
| Rio Grande do Sul | 36.688 | 36.567 | 1.254.475 | 376.343 |
| Sul | 649.705 | 649.115 | 55.785.334 | 16.735.600 |
| Mato Grosso do Sul | 285.993 | 285.993 | 25.228.392 | 7.568.518 |
| Mato Grosso | 241.668 | 213.164 | 16.209.589 | 4.862.877 |
| Goiás | 524.194 | 523.808 | 42.972.585 | 12.891.776 |
| Distrito Federal | 783 | 783 | 66.248 | 19.874 |
| Centro-Oeste | 1.052.638 | 1.023.748 | 84.476.814 | 25.343.044 |
| Brasil | 8.756.576 | 8.523.415 | 671.394.957 | 201.418.487 |

Fonte: IBGE (2010), Brasil (2010c), INEE (s.d.), Spadotto e Ribeiro (2006) e Silva *et al.* (2007).
Elaboração dos autores.

TABELA 7

Produção total da cultura e geração de resíduos (vinhaça) no processamento da cana-de-açúcar (2009)

| UFs e grandes regiões | Produção total (t) | Resíduos gerados (t) | Resíduos gerados (m ³) |
|-----------------------|--------------------|----------------------|------------------------------------|
| Rondônia | 253.277 | 248.465 | 227.949 |
| Acre | 38.650 | 37.916 | 34.785 |
| Amazonas | 368.050 | 361.057 | 331.245 |
| Roraima | 1.376 | 1.350 | 1.238 |
| Pará | 698.845 | 685.567 | 628.961 |
| Amapá | 1.395 | 1.368 | 1.256 |
| Tocantins | 664.284 | 651.663 | 597.856 |
| Norte | 2.025.877 | 1.987.385 | 1.823.289 |

(Continua)

(Continuação)

| UFs e grandes regiões | Produção total (t) | Resíduos gerados (t) | Resíduos gerados (m³) |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Maranhão | 2.824.701 | 2.771.032 | 2.542.231 |
| Piauí | 859.513 | 843.182 | 773.562 |
| Ceará | 2.323.937 | 2.279.782 | 2.091.543 |
| Rio Grande do Norte | 4.259.996 | 4.179.056 | 3.833.996 |
| Paraíba | 6.302.570 | 6.182.821 | 5.672.313 |
| Pernambuco | 19.445.241 | 19.075.781 | 17.500.717 |
| Alagoas | 26.804.130 | 26.294.852 | 24.123.717 |
| Sergipe | 2.607.155 | 2.557.619 | 2.346.440 |
| Bahia | 4.630.196 | 4.542.222 | 4.167.176 |
| Nordeste | 70.057.439 | 68.726.348 | 63.051.695 |
| Minas Gerais | 58.384.105 | 57.274.807 | 52.545.695 |
| Espírito Santo | 5.249.775 | 5.150.029 | 4.724.798 |
| Rio de Janeiro | 6.481.715 | 6.358.562 | 5.833.544 |
| São Paulo | 388.933.898 | 381.544.154 | 350.040.508 |
| Sudeste | 459.049.493 | 450.327.553 | 413.144.544 |
| Paraná | 53.831.791 | 52.808.987 | 48.448.612 |
| Santa Catarina | 699.068 | 685.786 | 629.161 |
| Rio Grande do Sul | 1.254.475 | 1.230.640 | 1.129.028 |
| Sul | 55.785.334 | 54.725.413 | 50.206.801 |
| Mato Grosso do Sul | 25.228.392 | 24.749.053 | 22.705.553 |
| Mato Grosso | 16.209.589 | 15.901.607 | 14.588.630 |
| Goiás | 42.972.585 | 42.156.106 | 38.675.327 |
| Distrito Federal | 66.248 | 64.989 | 59.623 |
| Centro-Oeste | 84.476.814 | 82.871.755 | 76.029.133 |
| Brasil | 671.394.957 | 658.638.453 | 604.255.461 |

Fonte: IBGE (2010), Brasil (2010c), INEE (s.d.), Spadotto e Ribeiro (2006) e Silva *et al.* (2007).
Elaboração dos autores.

d) Feijão

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão, com produção média anual de 3,5 milhões de t. Os maiores produtores são o Paraná, que colheu 298 mil t na safra 2009-2010, e Minas Gerais, com a produção de 214 mil t no mesmo período. A safra tem taxa anual de aumento projetada de 1,77%, de acordo com estudo da Assessoria de Gestão Estratégica do Mapa (Brasil, 2010c).

Os dados também mostram estimativa de crescimento no consumo de cerca de 1,22% ao ano (a.a), no período 2009-2010 a 2019-2020, passando de 3,7 milhões para 4,31 milhões de t. As projeções indicam também a possibilidade de importação de feijão nos próximos anos (Brasil, 2010c). Conforme a ABIB (2011), os resíduos do processamento do feijão são constituídos da palha e da vagem, totalizando um fator residual de 53% sobre o total de feijão produzido.

Na tabela 8, constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida e montante estimado de resíduos gerados no processamento do feijão no ano de 2009. Observa-se que o estado do Paraná foi o maior gerador de resíduos no Brasil, gerando um montante de 417.205 t/ano. Entre as grandes regiões, a maior geração de resíduos ocorreu na região Sul, com participação de 31,30%.

TABELA 8
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do feijão (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Rondônia | 66.681 | 66.681 | 46.580 | 24.687 |
| Acre | 9.014 | 8.964 | 4.960 | 2.629 |
| Amazonas | 3.235 | 3.235 | 3.185 | 1.688 |
| Roraima | 3.000 | 2.987 | 1.992 | 1.056 |
| Pará | 60.718 | 54.588 | 35.236 | 18.675 |
| Amapá | 1.738 | 1.738 | 1.260 | 668 |
| Tocantins | 20.699 | 20.699 | 24.970 | 13.234 |
| Norte | 165.085 | 158.892 | 118.183 | 62.637 |
| Maranhão | 96.393 | 95.619 | 42.585 | 22.570 |
| Piauí | 245.512 | 241.833 | 61.978 | 32.848 |
| Ceará | 610.267 | 586.525 | 129.827 | 68.808 |
| Rio Grande do Norte | 77.837 | 54.220 | 22.422 | 11.884 |
| Paraíba | 205.536 | 191.871 | 51.764 | 27.435 |
| Pernambuco | 343.791 | 311.672 | 129.965 | 68.881 |
| Alagoas | 80.418 | 77.270 | 35.628 | 18.883 |
| Sergipe | 42.213 | 42.213 | 28.369 | 15.036 |
| Bahia | 615.839 | 554.321 | 341.989 | 181.254 |
| Nordeste | 2.317.806 | 2.155.544 | 844.527 | 447.599 |
| Minas Gerais | 420.538 | 415.999 | 602.274 | 319.205 |
| Espírito Santo | 22.419 | 22.419 | 18.979 | 10.059 |
| Rio de Janeiro | 5.181 | 5.181 | 4.853 | 2.572 |
| São Paulo | 152.374 | 152.032 | 292.684 | 155.123 |
| Sudeste | 600.512 | 595.631 | 918.790 | 486.959 |
| Paraná | 642.816 | 641.236 | 787.180 | 417.205 |
| Santa Catarina | 129.113 | 129.113 | 178.516 | 94.613 |
| Rio Grande do Sul | 117.663 | 117.007 | 125.607 | 66.572 |
| Sul | 889.592 | 887.356 | 1.091.303 | 578.391 |
| Mato Grosso do Sul | 19.677 | 17.806 | 16.610 | 8.803 |
| Mato Grosso | 153.525 | 153.285 | 190.128 | 100.768 |
| Goiás | 113.928 | 113.928 | 261.925 | 138.820 |
| Distrito Federal | 17.549 | 17.549 | 45.297 | 24.007 |
| Centro-Oeste | 304.679 | 302.568 | 513.960 | 272.399 |
| Brasil | 4.277.674 | 4.099.991 | 3.486.763 | 1.847.984 |

Fonte: IBGE (2010), ABIB (2011) e Brasil (2010c).
Elaboração dos autores.

e) Arroz

O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz, colhendo 11,26 milhões de t na safra 2009-2010 (Brasil, 2010c). A produção está distribuída nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso. As projeções de produção e consumo de arroz, avaliadas pela Assessoria de Gestão Estratégica do Mapa, mostram que o Brasil vai colher 14,12 milhões de t de arroz na safra 2019-2020, o que equivale a um aumento anual da produção de 1,15% nos próximos dez anos (Brasil, 2010c).

Conforme a ABIB (2011), estima-se que a cultura do arroz produza cerca de 200 t de biomassa para cada 1 mil t de grãos colhidos. Assim, pode-se considerar que o processamento do arroz gera cerca de 20% de resíduos de casca.

Na tabela 9 constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida e geração de resíduos provenientes da agroindústria do arroz em 2009 nos estados e regiões do país. É possível observar que o Rio Grande do Sul foi o maior gerador de resíduos no Brasil, produzindo um montante de 1.595.578 t. Ao se analisar as grandes regiões, nota-se a grande participação da região Sul, com 72% da geração nacional de resíduos.

TABELA 9
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do arroz (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Rondônia | 68.912 | 68.762 | 159.151 | 31.830 |
| Acre | 13.880 | 13.832 | 21.140 | 4.228 |
| Amazonas | 5.556 | 5.556 | 9.986 | 1.997 |
| Roraima | 15.500 | 15.500 | 85.325 | 17.065 |
| Pará | 157.021 | 156.347 | 302.989 | 60.598 |
| Amapá | 3.650 | 3.635 | 4.053 | 811 |
| Tocantins | 127.908 | 127.908 | 376.749 | 75.350 |
| Norte | 392.427 | 391.540 | 959.393 | 191.879 |
| Maranhão | 472.621 | 459.345 | 609.290 | 121.858 |
| Piauí | 145.584 | 129.197 | 212.599 | 42.520 |
| Ceará | 34.923 | 34.776 | 93.388 | 18.678 |
| Rio Grande do Norte | 2.606 | 2.586 | 10.435 | 2.087 |
| Paraíba | 7.581 | 6.815 | 8.437 | 1.687 |
| Pernambuco | 3.730 | 3.730 | 20.035 | 4.007 |
| Alagoas | 3.056 | 3.030 | 17.589 | 3.518 |
| Sergipe | 11.510 | 11.481 | 57.166 | 11.433 |
| Bahia | 32.855 | 32.855 | 58.089 | 11.618 |
| Nordeste | 714.466 | 683.815 | 1.087.028 | 217.406 |
| Minas Gerais | 57.693 | 57.092 | 128.310 | 25.662 |
| Espírito Santo | 1.460 | 1.460 | 4.335 | 867 |
| Rio de Janeiro | 2.207 | 2.207 | 7.950 | 1.590 |
| São Paulo | 15.691 | 15.691 | 58.346 | 11.669 |
| Sudeste | 77.051 | 76.450 | 198.941 | 39.788 |
| Paraná | 43.729 | 43.729 | 167.349 | 33.470 |
| Santa Catarina | 148.900 | 148.808 | 1.034.209 | 206.842 |
| Rio Grande do Sul | 1.110.601 | 1.109.976 | 7.977.888 | 1.595.578 |
| Sul | 1.303.230 | 1.302.513 | 9.179.446 | 1.835.889 |
| Mato Grosso do Sul | 34.217 | 34.167 | 181.623 | 36.325 |
| Mato Grosso | 280.707 | 280.547 | 792.671 | 158.534 |
| Goiás | 103.045 | 102.945 | 252.583 | 50.517 |
| Distrito Federal | 59 | 59 | 89 | 18 |
| Centro-Oeste | 418.028 | 417.718 | 1.226.966 | 245.393 |
| Brasil | 2.905.202 | 2.872.036 | 12.651.774 | 2.530.355 |

Fonte: IBGE (2010), ABIB (2011) e Brasil (2010c).
Elaboração dos autores.

f) Trigo

O trigo é o segundo cereal mais produzido no mundo, com significativo peso na economia agrícola global. No Brasil, o trigo é cultivado nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A produção recebe reforço sistemático dos órgãos de governo, uma vez que as condições climáticas são desfavoráveis à cultura (Brasil, 2010c).

A produção nacional de trigo em grão obtida em 2010, para ambas as safras, totaliza 56,1 milhões de t. O Paraná é o principal produtor nacional de trigo (24,2 %), com volume de produção entre 6,9 milhões de t na primeira safra e 6,6 milhões de t na segunda (ABIB, 2011). Conforme estudo realizado pela ABIB (2011), os resíduos da agroindústria do trigo equivalem a um fator percentual de 60%.

Na tabela 10, constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida e a estimativa da geração de resíduos provenientes da agroindústria do trigo nos estados e nas regiões do país em 2009.

TABELA 10
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do trigo (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Geração de resíduos (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| Minas Gerais | 22.987 | 22.887 | 100.979 | 60.587 |
| Espírito Santo | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio de Janeiro | 0 | 0 | 0 | 0 |
| São Paulo | 59.738 | 59.738 | 111.224 | 66.734 |
| Sudeste | 82.725 | 82.625 | 212.203 | 127.322 |
| Paraná | 1.308.792 | 1.308.792 | 2.482.776 | 1.489.666 |
| Santa Catarina | 117.176 | 113.771 | 275.193 | 165.116 |
| Rio Grande do Sul | 859.790 | 855.670 | 1.912.138 | 1.147.283 |
| Sul | 2.285.758 | 2.278.233 | 4.670.107 | 2.802.064 |
| Mato Grosso do Sul | 44.254 | 43.354 | 74.288 | 44.573 |
| Mato Grosso | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Goiás | 22.438 | 22.438 | 84.472 | 50.683 |
| Distrito Federal | 3.603 | 3.603 | 14.455 | 8.673 |
| Centro-Oeste | 70.295 | 69.395 | 173.215 | 103.929 |
| Brasil | 2.438.778 | 2.430.253 | 5.055.525 | 3.033.315 |

Fonte: IBGE (2010), ABIB (2011) e Brasil (2010c).
Elaboração dos autores.

Observa-se que o estado do Paraná é o maior gerador de resíduos no Brasil, gerando um montante de 1.489.666 t/ano. Ao se analisar as grandes regiões, nota-se que a produção de resíduos está concentrada no Sul, com 92 % de participação. As regiões Norte e Nordeste não constam como produtoras.

g) Mandioca

A mandioca é cultivada em todos os estados brasileiros, situando-se entre os nove primeiros produtos agrícolas do país em termos de área cultivada, e o sexto em valor de produção (Embrapa, s.d.). O Brasil possui aproximadamente 2 milhões de ha, sendo um dos maiores produtores mundiais, com produção de 23 milhões de t de raízes frescas de mandioca. A região Nordeste tradicionalmente caracteriza-se pelo sistema de policultivo, ou seja, mistura de mandioca com outras espécies alimentares de ciclo curto, principalmente feijão, milho e amendoim (Fraife Filho e Bahia, s.d.).

Na tabela 11 constam os dados de área plantada, área colhida e produção total colhida na cultura da mandioca no ano de 2009. Não foi possível estimar a geração de resíduos no processamento da cultura da mandioca, por inexistência de informações a respeito.

TABELA 11
Dados da cultura da mandioca (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|
| Rondônia | 29.707 | 29.684 | 499.942 |
| Acre | 29.977 | 25.891 | 561.466 |
| Amazonas | 97.393 | 97.393 | 995.876 |
| Roraima | 6.210 | 5.800 | 77.192 |
| Pará | 298.096 | 289.980 | 4.548.748 |
| Amapá | 10.300 | 10.250 | 116.649 |
| Tocantins | 21.724 | 18.552 | 347.161 |
| Norte | 493.407 | 477.550 | 7.147.034 |
| Maranhão | 188.351 | 182.033 | 1.216.413 |
| Piauí | 60.249 | 59.991 | 529.721 |
| Ceará | 103.966 | 103.707 | 68.625 |
| Rio Grande do Norte | 52.367 | 51.656 | 587.233 |
| Paraíba | 27.749 | 27.749 | 262.076 |
| Pernambuco | 59.498 | 59.090 | 655.919 |
| Alagoas | 22.200 | 22.200 | 312.238 |
| Sergipe | 33.094 | 33.094 | 491.367 |
| Bahia | 271.595 | 271.595 | 3.437.100 |
| Nordeste | 819.069 | 811.115 | 7.560.692 |
| Minas Gerais | 56.841 | 56.806 | 864.161 |
| Espírito Santo | 15.202 | 15.202 | 259.485 |
| Rio de Janeiro | 9.539 | 9.539 | 130.564 |
| São Paulo | 46.100 | 40.907 | 982.070 |
| Sudeste | 127.682 | 122.454 | 2.236.280 |
| Paraná | 153.131 | 153.131 | 3.654.710 |
| Santa Catarina | 36.548 | 30.284 | 552.169 |
| Rio Grande do Sul | 83.669 | 83.669 | 1.281.899 |
| Sul | 273.348 | 267.084 | 5.488.778 |
| Mato Grosso do Sul | 23.759 | 23.759 | 459.011 |
| Mato Grosso | 36.924 | 35.844 | 525.617 |
| Goiás | 21.861 | 21.856 | 355.291 |
| Distrito Federal | 916 | 916 | 13.578 |
| Centro-Oeste | 83.460 | 82.375 | 1.353.497 |
| Brasil | 371.598 | 364.195 | 23.786.281 |

Fonte: IBGE (2010).
Elaboração dos autores.

2) Culturas permanentes

a) Café

De acordo com o IBGE (2010), o Brasil produziu cerca de 1,4 milhão de t de café durante o ano de 2009, com uma área plantada de 2.211.633 ha, sendo colhido um total de 2.201.335 ha. Segundo Woiciechowski *et al.* (s.d.), para cada tonelada de café torrado e moído, produz-se uma tonelada de cascas e palha. Para Kihel (1985 *apud* Vale *et al.*, 2007), de 45 a 55%

do grão maduro do café é resíduo, ou seja, uma tonelada de grão de café produz, em média, 50% de grão limpo e 50% de casca e polpa. Giomo (2006 *apud* Vale *et al.*, 2007) afirma que, para café coco, com 10 a 12% de umidade, 50% é grão (endosperma) e 50% é casca mais pergaminho constituído por exocarpo e endocarpo. Neste diagnóstico, assumir-se-á uma porcentagem de geração de 50% de resíduos sobre a parcela total de café processado.

Na tabela 12 constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida e a geração de resíduos da agroindústria do café nos estados e nas regiões do país. Observa-se que o estado de Minas Gerais é o maior gerador de resíduos no Brasil, gerando um montante de 597.744 t/ano. Ao se analisar as grandes regiões, nota-se que a produção está concentrada no Sudeste, com 83% de participação na geração nacional.

TABELA 12
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do café (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Rondônia | 152.999 | 152.999 | 92.019 | 46.010 |
| Acre | 837 | 837 | 900 | 450 |
| Amazonas | 5.706 | 5.664 | 5.721 | 2.861 |
| Roraima | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pará | 12.394 | 12.394 | 12.731 | 6.366 |
| Amapá | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tocantins | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Norte | 171.936 | 171.894 | 111.371 | 55.686 |
| Maranhão | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Piauí | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ceará | 7.436 | 7.436 | 3.289 | 1.645 |
| Rio Grande do Norte | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paraíba | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pernambuco | 3.943 | 3.943 | 1.865 | 933 |
| Alagoas | 5 | 5 | 3 | 2 |
| Sergipe | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bahia | 155.047 | 155.047 | 176.851 | 88.426 |
| Nordeste | 166.431 | 166.431 | 182.008 | 91.004 |
| Minas Gerais | 1.011.356 | 1.011.356 | 1.195.488 | 597.744 |
| Espírito Santo | 489.754 | 489.754 | 619.656 | 309.828 |
| Rio de Janeiro | 13.923 | 13.923 | 15.893 | 7.947 |
| São Paulo | 237.942 | 236.529 | 198.101 | 99.051 |
| Sudeste | 1.752.975 | 1.751.562 | 2.029.138 | 1.014.569 |
| Paraná | 85.324 | 85.324 | 89.213 | 44.607 |
| Santa Catarina | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio Grande do Sul | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sul | 85.324 | 85.324 | 89.213 | 44.607 |
| Mato Grande do Sul | 1.273 | 1.273 | 991 | 496 |
| Mato Grosso | 24.024 | 15.272 | 7.653 | 3.827 |
| Goiás | 8.769 | 8.769 | 18.802 | 9.401 |
| Distrito Federal | 901 | 810 | 881 | 441 |
| Centro-Oeste | 34.967 | 26.124 | 28.327 | 14.164 |
| Brasil | 2.211.633 | 2.201.335 | 2.440.057 | 1.220.029 |

Fonte: IBGE (2010), Kihel (1985) e Giomo (2006) *apud* Vale *et al.* (2007).
Elaboração dos autores.

b) Cacau

O cacauéiro é originário da floresta amazônica, nas regiões tropicais da América do Sul e Central, onde foi utilizado até como moeda pelos pipiles, povo indígena pré-colombiano de El Salvador, que com ele pagavam tributos e compravam todo tipo de mercadoria (Cuenca e Nazário, 2004). No Brasil, o cacau adaptou-se perfeitamente ao clima e solos do Sul da Bahia, trazendo muita prosperidade para a região de Ilhéus e constituindo-se num dos pilares fundamentais para o desenvolvimento regional.

Entre os principais usos do cacau, cita-se a extração da pectina da casca para a fabricação de ração animal e fertilizante orgânico; a fabricação de sucos, geleias, destilados, fermentados, xaropes, néctares, sorvetes, doces e iogurtes; utilização na indústria cosmética e farmacêutica, entre outros (Pereira, s.d.). Entretanto, é por meio da extração das sementes que se obtém o produto mais popular e consumido do cacau: o chocolate. Das sementes torradas e moídas obtém-se o pó, a torta, o licor e a manteiga de cacau. Esta produção gera grandes quantidades de resíduos da fruta do cacauéiro, que são geralmente abandonados nas plantações e utilizados apenas como fertilizante para a árvore, procedimento que, quando mal realizado, pode permitir a propagação de doenças que acabam tornando necessário o uso de produtos químicos.

Conforme a ABIB (2011), o resíduo proveniente do beneficiamento do cacau é a casca, e o fator residual quantitativo é de 38%, ou seja, este quantitativo representa o rejeito gerado na agroindústria do cacau.

Na tabela 13, constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida e a geração de resíduos provenientes da agroindústria do cacau nos estados e nas regiões do Brasil para o ano de 2009. Observa-se que o estado da Bahia é o maior gerador de resíduos no Brasil, gerando um montante de 52.413 t/ano. Ao se analisar as grandes regiões, nota-se que a produção está concentrada no Nordeste, com 63% de participação nacional, enquanto o Sul não contribui nem na produção de cacau nem na consequente geração de resíduos.

TABELA 13
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do cacau (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Rondônia | 28.891 | 28.891 | 17.485 | 6.644 |
| Acre | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Amazonas | 1.087 | 1.087 | 869 | 330 |
| Roraima | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pará | 70.279 | 70.279 | 54.216 | 20.602 |
| Amapá | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tocantins | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Norte | 100.257 | 100.257 | 72.570 | 27.577 |
| Maranhão | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Piauí | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ceará | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio Grande do Norte | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paraíba | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pernambuco | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Alagoas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sergipe | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bahia | 549.769 | 513.935 | 137.929 | 52.413 |
| Nordeste | 549.769 | 513.935 | 137.929 | 52.413 |

(Continua)

(Continuação)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
| Mnas Gerais | 168 | 168 | 100 | 38 |
| Espírito Santo | 20.798 | 20.793 | 7.580 | 2.880 |
| Rio de Janeiro | 5 | 0 | 0 | 0 |
| São Paulo | 16 | 16 | 8 | 3 |
| Sudeste | 20.987 | 20.977 | 7.688 | 2.921 |
| Paraná | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Catarina | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio Grande do Sul | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sul | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mato Grosso do Sul | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mato Grosso | 1.422 | 806 | 300 | 114 |
| Goiás | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Distrito Federal | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Centro-Oeste | 1.422 | 806 | 300 | 114 |
| Brasil | 672.435 | 635.975 | 218.487 | 83.025 |

Fonte: IBGE (2010) e ABIB (2011).
Elaboração dos autores.

c) Banana

A banana é uma fruta tropical que cresce em regiões quentes do mundo e sua produção ocorre o ano inteiro (Rosso, 2010). Conforme a Embrapa (s.d.), o Brasil é o segundo maior produtor mundial, e o estado de São Paulo encontra-se como o maior produtor de banana nacional. Economicamente, a banana destaca-se como a segunda fruta mais importante em área colhida, quantidade produzida, valor da produção e consumo. É cultivada por grandes, médios e pequenos produtores, sendo 60% da produção provenientes da agricultura familiar.

No Brasil, segundo Folegatti e Matsuura (2002), a maior parte da produção de banana é consumida *in natura*, sendo que apenas 2,5% a 3,0% da produção são industrializados. Para este estudo, considerar-se-á apenas o montante de resíduos gerados a partir da produção industrializada, aqui considerada como sendo 3% do total da produção, visto que os demais resíduos farão parte dos resíduos sólidos urbanos.

Segundo Silva *et al.* (2009), a exploração agroindustrial das atividades vinculadas à produção e industrialização da banana traz como consequência a geração de grandes quantidades de resíduos, um problema para o meio ambiente e para os responsáveis envolvidos neste processo. A prospecção é de que a produção de resíduos situe-se em torno de 50% para a banana (incluindo casca e engaço).

Na tabela 14, encontra-se a área plantada, área colhida, a produção total colhida, produção industrializada e montante de resíduos gerados no processamento da cultura da banana no ano de 2009. Observa-se que o estado de São Paulo é o maior gerador de resíduos no Brasil, gerando um montante de 18.863 t/ano. Entre as grandes regiões, o Nordeste foi responsável por 38% dos resíduos gerados, seguido do Sudeste, com 31%.

TABELA 14
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento da banana (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida(t) | Produção industrializada | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| Rondônia | 5.843 | 5.812 | 49.183 | 1.475 | 738 |
| Acre | 5.950 | 5.219 | 50.109 | 1.503 | 752 |
| Amazonas | 14.650 | 14.650 | 136.108 | 4.083 | 2.042 |
| Roraima | 5.670 | 4.640 | 45.000 | 1.350 | 675 |
| Pará | 39.380 | 38.925 | 501.344 | 15.040 | 7.520 |
| Amapá | 1.500 | 1.432 | 5.849 | 175 | 88 |
| Tocantins | 4.317 | 3.540 | 25.348 | 760 | 380 |
| Norte | 77.310 | 74.218 | 812.941 | 24.388 | 12.193 |
| Maranhão | 10.350 | 10.350 | 109.353 | 3.281 | 1.641 |
| Piauí | 2.028 | 2.028 | 29.894 | 897 | 449 |
| Ceará | 44.748 | 44.742 | 429.506 | 12.885 | 6.443 |
| Rio Grande do Norte | 5.254 | 5.251 | 136.920 | 4.108 | 2.054 |
| Paraíba | 17.478 | 17.478 | 267.468 | 8.024 | 4.012 |
| Pernambuco | 42.959 | 42.910 | 437.155 | 13.115 | 6.558 |
| Alagoas | 4.247 | 4.247 | 47.282 | 1.418 | 709 |
| Sergipe | 3.898 | 3.898 | 55.935 | 1.678 | 839 |
| Bahia | 65.487 | 65.487 | 1.015.505 | 30.465 | 15.233 |
| Nordeste | 196.449 | 196.391 | 2.529.018 | 75.871 | 37.936 |
| Minas Gerais | 39.194 | 39.194 | 620.931 | 18.628 | 9.314 |
| Espírito Santo | 19.757 | 19.757 | 55.935 | 1.678 | 839 |
| Rio de Janeiro | 22.876 | 22.876 | 155.216 | 4.656 | 2.328 |
| São Paulo | 53.362 | 53.078 | 1.257.539 | 37.726 | 18.863 |
| Sudeste | 135.189 | 134.905 | 2.089.621 | 62.689 | 31.344 |
| Paraná | 9.900 | 9.900 | 229.683 | 6.890 | 3.445 |
| Santa Catarina | 31.119 | 30.922 | 624.204 | 18.726 | 9.363 |
| Rio Grande do Sul | 12.291 | 12.291 | 121.640 | 3.649 | 1.825 |
| Sul | 53.310 | 53.113 | 975.527 | 29.266 | 14.633 |
| Mato Grosso do Sul | 1.348 | 1.348 | 10.797 | 324 | 162 |
| Mato Grosso | 6.105 | 5.958 | 50.331 | 1.510 | 755 |
| Goiás | 13.650 | 13.497 | 170.794 | 5.124 | 2.562 |
| Distrito Federal | 201 | 184 | 3.710 | 111 | 56 |
| Centro-Oeste | 21.304 | 20.987 | 235.632 | 7.069 | 3.535 |
| Brasil | 483.562 | 479.614 | 6.642.739 | 199.282 | 99.640 |

Fonte: IBGE (2010), Embrapa (s.d.), Folegatti e Matsuura (2002) e Silva *et al.* (2009).
 Elaboração dos autores.

d) Laranja

A laranja está entre as frutas mais produzidas e consumidas no mundo, e sua produção ultrapassa 80 milhões de t/ano. O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, sendo a maior parte da produção destinada à indústria do suco.

Segundo Alexandrino *et al.* (2007), em média 96% da produção é transformada em suco, o que gera grande quantidade de resíduos. Neste estudo, considerou-se a geração de resíduos a partir do montante processado na agroindústria do suco, visto que a outra parcela é comercializada na forma de fruto e, deste modo, irá gerar resíduos nas residências, classificados como resíduos domésticos. Um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias

processadoras de suco de laranja é o grande volume de resíduos sólidos e líquidos produzidos, que, conforme Rezzadori e Benedetti (2009), equivalem a 50% do peso da fruta.

Na tabela 15 constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida, produção industrializada e montante de resíduos gerados na agroindústria para a cultura da laranja no ano de 2009. Observa-se que o estado de São Paulo é o maior gerador de resíduos no Brasil, gerando 6.548.239 t/ano. Quanto às grandes regiões, nota-se que a produção está concentrada no Sudeste, com 82,87% do total do país.

TABELA 15

Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento da laranja (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Produção industrializada (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Rondônia | 793 | 793 | 10.589 | 10.165 | 5.083 |
| Acre | 305 | 266 | 3.724 | 3.575 | 1.788 |
| Amazonas | 3.382 | 3.382 | 16.278 | 15.627 | 7.814 |
| Roraima | 300 | 222 | 2.153 | 2.067 | 1.034 |
| Pará | 12.208 | 12.203 | 203.188 | 195.060 | 97.530 |
| Amapá | 1.300 | 1.280 | 12.163 | 11.676 | 5.838 |
| Tocantins | 175 | 155 | 1.562 | 1.500 | 750 |
| Norte | 18.463 | 18.301 | 249.657 | 239.671 | 119.835 |
| Maranhão | 1.148 | 1.148 | 7.754 | 7.444 | 3.722 |
| Piauí | 424 | 424 | 4.296 | 4.124 | 2.062 |
| Ceará | 1.753 | 1.753 | 16.127 | 15.482 | 7.741 |
| Rio Grande do Norte | 245 | 245 | 3.147 | 3.021 | 1.511 |
| Paraíba | 1.014 | 1.014 | 6.073 | 5.830 | 2.915 |
| Pernambuco | 587 | 571 | 2.572 | 2.469 | 1.235 |
| Alagoas | 4.462 | 4.462 | 41.812 | 40.140 | 20.070 |
| Sergipe | 53.001 | 53.001 | 784.382 | 753.007 | 376.504 |
| Bahia | 55.755 | 55.755 | 906.965 | 870.686 | 435.343 |
| Nordeste | 118.389 | 118.373 | 1.773.128 | 1.702.203 | 851.102 |
| Minas Gerais | 30.549 | 30.549 | 749.987 | 719.988 | 359.994 |
| Espírito Santo | 1.664 | 1.664 | 784.382 | 753.007 | 376.504 |
| Rio de Janeiro | 4.602 | 4.602 | 59.392 | 57.016 | 28.508 |
| São Paulo | 566.652 | 551.901 | 13.642.165 | 13.096.478 | 6.548.239 |
| Sudeste | 603.467 | 588.716 | 15.235.926 | 14.626.489 | 7.313.245 |
| Paraná | 20.000 | 20.000 | 520.000 | 499.200 | 249.600 |
| Santa Catarina | 7.346 | 7.078 | 120.781 | 115.950 | 57.975 |
| Rio Grande do Sul | 27.182 | 27.162 | 350.650 | 336.624 | 168.312 |
| Sul | 54.528 | 54.240 | 991.431 | 951.774 | 475.887 |
| Mato Grosso do Sul | 236 | 236 | 4.657 | 4.471 | 2.236 |
| Mato Grosso | 560 | 501 | 4.893 | 4.697 | 2.349 |
| Goiás | 6.717 | 6.717 | 122.288 | 117.396 | 58.698 |
| Distrito Federal | 168 | 166 | 4.011 | 3.851 | 1.926 |
| Centro-Oeste | 7.681 | 7.620 | 135.849 | 130.415 | 65.208 |
| Brasil | 802.528 | 787.250 | 18.385.991 | 17.650.551 | 8.825.276 |

Fonte: IBGE (2010), Alexandrino *et al.* (2007) e Rezzadori e Benedetti (2009).
Elaboração dos autores.

e) Coco-da-baía

O coco-da-baía (*cocos nucifera*) é considerado, em todo o mundo, uma fruta fornecedora de óleo, tendo aplicações diversas nas mais distintas áreas industriais e culinárias. O Brasil é o único país produtor onde o coco é tratado como uma fruta e não como uma oleaginosa, com uma vasta aplicação do fruto *in natura* e seus derivados tanto como insumo industrial, como na forma de condimentos, bebidas, especiarias e outros modos de utilização.

De acordo com a Embrapa (2007), estima-se que 70% do total de coco produzido no país destinam-se à agroindústria, que produz, principalmente, coco ralado e leite de coco. Os 30% restantes ficam no mercado para atender ao consumo *in natura*. Portanto, para calcular o potencial energético gerado a partir da cultura do coco-da-baía, utilizou-se o dado da produção industrializada, visto que os resíduos dos produtos consumidos *in natura* são destinados como resíduo doméstico. Para o cálculo do resíduo do coco-da-baía considera-se que cada fruto pesa, em média, 500 g e que 60% deste peso correspondem à casca (Aneel, 2002).

Na tabela 16, constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida, produção industrializada e montante de resíduos gerados na agroindústria do coco para o ano de 2009. Observa-se que o estado da Bahia é o maior gerador de resíduos no Brasil, com um montante de 98.087 t/ano. Ao se analisar as grandes regiões em relação ao país, nota-se que a produção está concentrada no Nordeste, com 69% de participação.

TABELA 16
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento do coco-da-baía (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Produção industrializada (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Rondônia | 618 | 618 | 1.740 | 1.218 | 731 |
| Acre | 164 | 132 | 365 | 256 | 154 |
| Amazonas | 3.920 | 3.913 | 8.412 | 5.888 | 3.533 |
| Roraima | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pará | 24.663 | 24.457 | 124.094 | 86.866 | 52.120 |
| Amapá | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tocantins | 988 | 898 | 6.264 | 4.385 | 2.631 |
| Norte | 30.353 | 30.018 | 140.873 | 98.613 | 59.168 |
| Maranhão | 2.253 | 2.253 | 3.447 | 2.413 | 1.448 |
| Piauí | 1.374 | 1.374 | 8.570 | 5.999 | 3.599 |
| Ceará | 43.448 | 43.448 | 129.684 | 90.779 | 54.467 |
| Rio Grande do Norte | 21.923 | 21.819 | 30.502 | 21.351 | 12.811 |
| Paraíba | 11.556 | 11.556 | 31.883 | 22.318 | 13.391 |
| Pernambuco | 14.237 | 14.237 | 64.911 | 45.438 | 27.263 |
| Alagoas | 12.524 | 12.524 | 26.542 | 18.579 | 11.147 |
| Sergipe | 42.000 | 42.000 | 139.602 | 97.721 | 58.633 |
| Bahia | 79.596 | 79.596 | 233.540 | 163.478 | 98.087 |
| Nordeste | 228.911 | 228.807 | 668.679 | 468.077 | 280.846 |
| Minas Gerais | 2.675 | 2.675 | 19.937 | 13.956 | 8.374 |
| Espírito Santo | 10.625 | 10.625 | 78.795 | 55.157 | 33.094 |
| Rio de Janeiro | 4.843 | 4.843 | 16.829 | 11.780 | 7.068 |
| São Paulo | 3.421 | 3.382 | 17.630 | 12.341 | 7.405 |
| Sudeste | 21.564 | 21.525 | 133.191 | 93.234 | 55.940 |

(Continua)

(Continuação)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Produção industrializada (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Paraná | 189 | 189 | 1.002 | 701 | 421 |
| Santa Catarina | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio Grande do Sul | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sul | 189 | 189 | 1.002 | 701 | 421 |
| Mato Grosso do Sul | 421 | 421 | 2.822 | 1.975 | 1.185 |
| Mato Grosso | 2.198 | 1.798 | 10.337 | 7.236 | 4.342 |
| Goiás | 1.315 | 1.300 | 7.400 | 5.180 | 3.108 |
| Distrito Federal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Centro-Oeste | 3.934 | 3.519 | 20.558 | 14.391 | 8.635 |
| Brasil | 284.951 | 284.058 | 964.303 | 675.016 | 405.009 |

Fonte: IBGE (2010), Embrapa (2007) e Aneel (2002).
Elaboração dos autores.

f) Castanha-de-caju

O caju é um pseudofruto composto de duas partes: a fruta propriamente dita, que é a castanha-de-caju, e o pedúnculo floral, geralmente reconhecido como o fruto, o caju. Hoje a castanha-de-caju é comum em todas as regiões do planeta onde exista um clima suficientemente quente e úmido, distribuindo-se por mais de trinta países. A produção brasileira tem aumentado com o cultivo de variedades mais produtivas e com facilidade na colheita, como é o caso do cajueiro anão.

Estima-se, de acordo com a Embrapa (2003), que, do total de castanha-de-caju produzida no país, 50% destinam-se à agroindústria. Os 50% restantes ficam no mercado para atender ao consumo *in natura*. Portanto, para calcular o potencial energético gerado a partir da cultura da castanha-de-caju, utilizou-se o dado da produção industrializada, visto que os resíduos dos produtos consumidos *in natura* têm como destino os aterros sanitários. Segundo Aneel (s.d.), a casca da castanha-de-caju corresponde a 73% do peso total.

Na tabela 17, constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida, produção industrializada e montante de resíduos gerados no processamento da castanha-de-caju em 2009. Observa-se que esta cultura é produzida principalmente nos estados do Nordeste, com 99% do total da produção, não sendo cultivada nos estados do Sul e Sudeste. O estado do Ceará foi o maior gerador de resíduos no Brasil, com um montante de 76.227 t/ano.

TABELA 17

Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento da castanha-de-caju (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Produção industrializada (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Rondônia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Amazonas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Roraima | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pará | 2.608 | 2.608 | 1.867 | 934 | 1.363 |
| Amapá | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tocantins | 545 | 464 | 516 | 258 | 188 |

(Continua)

(Continuação)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Produção industrializada (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Norte | 3.153 | 3.072 | 2.383 | 1.192 | 870 |
| Maranhão | 18.621 | 18.616 | 6.473 | 3.237 | 2.363 |
| Piauí | 184.145 | 170.545 | 42.963 | 21.482 | 15.681 |
| Ceará | 396.538 | 396.538 | 104.421 | 52.211 | 38.114 |
| Rio Grande do Norte | 129.227 | 126.585 | 48.918 | 24.459 | 17.855 |
| Paraíba | 7.905 | 7.905 | 3.152 | 258 | 1.150 |
| Pernambuco | 7.260 | 7.260 | 5.827 | 2.914 | 2.127 |
| Alagoas | 1.259 | 1.259 | 534 | 267 | 195 |
| Sergipe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bahia | 25.460 | 25.460 | 5.279 | 2.640 | 1.927 |
| Nordeste | 770.415 | 754.168 | 217.567 | 108.784 | 79.412 |
| Minas Gerais | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Espírito Santo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio de Janeiro | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| São paulo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sudeste | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paraná | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Catarina | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio Grande do Sul | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sul | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mato Grosso do Sul | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mato Grosso | 1.657 | 845 | 555 | 278 | 203 |
| Goiás | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Distrito Federal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Centro-Oeste | 1.657 | 845 | 555 | 278 | 203 |
| Brasil | 775.225 | 758.085 | 220.505 | 110.253 | 80.484 |

Fonte: IBGE (2010), Embrapa (2003) e Aneel (s.d.).
Elaboração dos autores.

g) Uva

Segundo o Mapa (Brasil, 2010c), a viticultura brasileira ocupa, atualmente, área de 81 mil ha, com vinhedos desde o extremo Sul até regiões próximas à linha do Equador. Duas regiões se destacam: o Rio Grande do Sul, por contribuir, em média, com 777 milhões de kg de uva por ano, e os polos de frutas de Petrolina (PE) e de Juazeiro (BA), no submédio do Vale do São Francisco, responsável por 95% das exportações nacionais de uvas finas de mesa.

Apenas parte da uva cultivada no país é destinada ao consumo *in natura*, sendo a outra parte destinada ao processamento, conforme Mello (2006). Esta divisão da produção de uvas para processamento e para consumo *in natura* no Brasil encontra-se na tabela 18.

TABELA 18
Dados do consumo de uva (2006-2009)

| Discriminação/ano | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Processamento | 470.705 | 637.125 | 708.042 | 678.169 |
| Consumo <i>in natura</i> | 757.685 | 717.835 | 691.220 | 667.550 |
| Total | 1.228.390 | 1.354.960 | 1.399.262 | 1.345.719 |

Fonte: Mello (2006) com adaptações.

Conforme Mello (2006), estima-se que 45% da produção nacional de uva seja destinada à elaboração de vinho, suco, destilado e outros derivados. Nesta pesquisa, apenas a produção industrializada foi utilizada para estimar a geração de resíduos, pois, no consumo *in natura*, a geração de resíduos se dará nas residências, na forma de resíduos domésticos. Segundo a Embrapa (2007), na agroindústria dos vinhos, sucos, destilados e outros derivados, cerca de 40% da uva processada são transformados em resíduo.

Na tabela 19 constam os dados de área plantada, área colhida, produção total colhida, produção industrializada e montante de resíduos gerados no processamento da uva no ano de 2009. A região Sul apresentou a maior produção, com 66% do total nacional, seguida da região Nordeste. Observa-se que o estado de Rio Grande do Sul foi o maior gerador de resíduos – um montante de 162.220 t.

TABELA 19
Dados da cultura e montantes estimados de resíduos gerados no processamento da uva (2009)

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Área colhida (ha) | Produção total colhida (t) | Produção industrializada (t) | Resíduos gerados (t) |
|-----------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| Rondônia | 33 | 33 | 229 | 126 | 50 |
| Acre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Amazonas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Roraima | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pará | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Amapá | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tocantins | 4 | 4 | 72 | 40 | 16 |
| Norte | 37 | 37 | 301 | 166 | 66 |
| Maranhão | 0 | 0 | 229 | 126 | 50 |
| Piauí | 10 | 10 | 180 | 99 | 40 |
| Ceará | 92 | 86 | 2.908 | 1.599 | 640 |
| Rio Grande do Norte | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paraíba | 110 | 110 | 1.980 | 1.089 | 436 |
| Pernambuco | 6.003 | 6.003 | 158.517 | 87.184 | 34.874 |
| Alagoas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sergipe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bahia | 3.724 | 3.724 | 90.508 | 49.779 | 19.912 |
| Nordeste | 9.939 | 9.933 | 254.322 | 139.877 | 55.950 |
| Minas Gerais | 812 | 812 | 11.773 | 6.475 | 2.590 |
| Espírito Santo | 53 | 53 | 1.166 | 641 | 256 |
| Rio de Janeiro | 5 | 5 | 50 | 28 | 11 |
| São Paulo | 11.259 | 11.216 | 185.123 | 101.818 | 40.727 |
| Sudeste | 12.129 | 12.086 | 198.112 | 108.962 | 43.585 |
| Paraná | 5.800 | 5.800 | 102.080 | 56.144 | 22.458 |
| Santa Catarina | 5.168 | 4.934 | 67.543 | 37.149 | 14.860 |
| Rio Grande do Sul | 48.259 | 48.259 | 737.363 | 405.550 | 162.220 |
| Sul | 59.227 | 58.993 | 906.986 | 498.842 | 199.537 |
| Mato Grosso do Sul | 21 | 21 | 286 | 157 | 63 |
| Mato Grosso | 133 | 113 | 1.505 | 828 | 331 |
| Goiás | 126 | 121 | 3.172 | 1.745 | 698 |
| Distrito Federal | 65 | 51 | 1.036 | 570 | 228 |
| Centro-Oeste | 345 | 306 | 5.999 | 3.299 | 1.320 |
| Brasil | 81.677 | 81.355 | 1.365.720 | 751.146 | 300.459 |

Fonte: IBGE (2010), Mello (2006) e Embrapa (2007).
Elaboração dos autores.

3) Montantes totais de resíduos gerados

Na tabela 20, é apresentado um resumo das informações obtidas sobre a geração de resíduos na agroindústria para as principais culturas brasileiras. Pode-se observar a ampla geração de resíduos no país, representando mais de 291 milhões de t para o ano de 2009. De acordo com o estudo, a cultura que mais gerou resíduos foi a de cana-de-açúcar, com um montante de 201 milhões de t de resíduos (torta de filtro e bagaço). A cana-de-açúcar tem ainda como subproduto de seu processamento a geração da vinhaça, sendo esta criada num volume de mais de 604 milhões de m³ para 2009. As demais culturas totalizaram quase 90 milhões de t de resíduos.

TABELA 20

Geração de resíduos na agroindústria para as principais culturas brasileiras (2009)

| Culturas | Produção total colhida (t) | Produção consumida <i>in natura</i> (t) | Produção industrializada (t) | Fator residual (%) | Resíduos (t) | Efluentes (m ³) |
|---|----------------------------|---|------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| Soja | 57.345.382 | - | 57.345.382 | 73 | 41.862.129 | - |
| Milho | 50.745.996 | - | 50.745.996 | 58 | 29.432.678 | - |
| Cana-de-açúcar (bagaço e torta de filtro) | 671.394.957 | - | 671.394.957 | 30 | 201.418.487 | - |
| Cana-de-açúcar (vinhaça) | - | - | - | - | - | 604.255.461 |
| Feijão | 3.486.763 | - | 3.486.763 | 53 | 1.847.984 | - |
| Arroz | 12.651.774 | - | 12.651.774 | 20 | 2.530.355 | - |
| Trigo | 5.055.525 | - | 5.055.525 | 60 | 3.033.315 | - |
| Mandioca | 23.786.281 | - | - | - | - | - |
| Café | 2.440.057 | - | 2.440.057 | 50 | 1.220.029 | - |
| Cacau | 218.487 | - | 218.487 | 38 | 83.025 | - |
| Banana | 6.642.739 | 6.443.457 | 199.282 | 50 | 99.640 | - |
| Laranja | 18.385.991 | 735.440 | 17.650.551 | 50 | 8.825.276 | - |
| Coco-da-baía | 964.303 | 289.291 | 675.012 | 60 | 405.009 | - |
| Castanha-de-caju | 220.505 | 110.253 | 110.253 | 73 | 80.484 | - |
| Uva | 1.365.720 | 751.146 | 614.574 | 40 | 300.459 | - |
| total | 854.704.480 | 8.329.587 | 822.588.613 | - | 291.138.870 | 604.255.461 |

Elaboração dos autores.

Obs.: não foi possível quantificar a produção de resíduos da cultura da mandioca. A geração considerada foi de 900 litros de vinhaça para cada tonelada de cana-de-açúcar processada.

Esta geração de resíduos está relacionada apenas às agroindústrias associadas à agricultura, visto que, conforme justificado neste diagnóstico, não foi possível mensurar os resíduos provenientes diretamente da agricultura. Neste sentido, entende-se que os resíduos produzidos diretamente na agricultura, quando não são queimados, ficam na própria área de produção, a fim de servirem como adubo para o solo. A outra fonte de geração de resíduos resultantes dos produtos da agricultura ocorre em feiras e nas próprias residências, contribuindo para a geração de resíduos urbanos, cuja quantificação não fez parte do escopo deste estudo.

3.1.3 Avaliação do potencial energético

Considerações gerais

Atualmente, tanto no cenário internacional quanto no Brasil, buscam-se novas fontes de energia preferencialmente sustentáveis, devido à escassez de fontes não renováveis e aos impactos ambientais negativos causados por estas ao meio ambiente. Uma alternativa adequada para fazer frente a este cenário é o uso da biomassa como fonte sustentável de energia, especialmente nas agroindústrias associadas, nas quais, em 2009, estimou-se a geração de 291.138.869 t de resíduos e 604.255.461 m³ de efluentes (considerando-se aqui apenas os efluentes resultantes do processamento da cana-de-açúcar) passíveis de reaproveitamento energético (nas culturas abrangidas por este estudo).

Os benefícios do reaproveitamento energético desses resíduos são inúmeros, tanto em nível social quanto ambiental e econômico. A mudança do sistema de destinação final dos resíduos leva à redução do volume anual a ser aterrado ou disposto de forma inadequada, reduzindo igualmente as áreas requeridas para a implantação de novos aterros sanitários e trazendo outros benefícios indiretos, como a geração de emprego e renda, e evitando ainda a possível supressão de vegetação e mudança no relevo, entre outros problemas. Além disto, reduz-se conseqüentemente a quantidade de lixiviado gerado, evitando a contaminação dos cursos d'água. A utilização dos resíduos para a geração de energia oferece como vantagem, ainda, a obtenção de energia renovável, reduzindo a dependência de energia fóssil.

Escopo e limitações do estudo

Neste item será quantificado o potencial energético gerado a partir dos resíduos provenientes das agroindústrias associadas às culturas temporárias e permanentes, foco do estudo. Para estes cálculos, consideraram-se os resíduos do café, cacau, coco-da-baía, castanha-de-caju, milho, feijão, arroz e trigo como resíduos de base seca, ou seja, com baixo teor de umidade. Para se calcular o potencial energético da cana-de-açúcar, considerou-se o montante de resíduos gerados na forma de bagaço/torta-de-filtro e vinhaça.

Não foi possível estimar a geração de resíduos da cultura da mandioca, por inexistência de informações a respeito. Portanto, esta cultura não será avaliada para o potencial energético.

Para os resíduos das culturas da banana, laranja e uva, não foi estimada a geração do potencial energético, pois se sabe que estes resíduos já possuem outros destinos comerciais, particularmente nas indústrias alimentícias e farmacêuticas.

Torna-se importante ressaltar que os resultados da quantificação do potencial energético gerado a partir dos resíduos de algumas culturas consideradas são apenas ilustrativos e servem para demonstrar a magnitude do potencial energético que determinada biomassa possui. Ou seja, para se analisar a possibilidade de uso destes potenciais seria necessário verificar várias outras questões de cunho econômico, financeiro, regulatório, logístico, técnico, entre outras, que não foram analisadas nesta pesquisa.

Metodologia

1) Resíduos de base seca

A metodologia de cálculo para conversão energética utilizada para estimar o potencial dos resíduos da agricultura consta do Panorama do Potencial de Biomassa do Brasil (CENBIO, 2008). Segundo a fonte citada, determina-se que este potencial é calculado pela equação (1) apresentada a seguir.

$$\text{Potencial} = \frac{(P \times \%R) \times PCI \times \eta}{860 \times \text{func.}} \quad (1)$$

Onde:

Potencial – potencial energético gerado a partir de resíduos no ano (MW);

P – produção total da cultura (toneladas);

%R – porcentagem de resíduos sobre a produção total da cultura (%);

PCI – poder calorífico inferior (kcal/kg);

η – eficiência de conversão (%);

860 – fator de conversão (kcal/kg para kWh/kg); e

func. – tempo de operação do sistema (horas de operação/ano).

Para a estimativa do potencial de geração de energia a partir de resíduos agrícolas, foram utilizados os dados de geração de resíduos na agroindústria apresentados nas tabelas 3 a 10, 12 a 17, e 19, para as principais culturas com resíduos de base seca. O poder calorífico inferior (PCI) dos diferentes tipos de resíduos foi obtido por meio de literatura (tabela 21). A conversão de kcal/kg para kWh/kg foi feita pela divisão por 860, que corresponde ao valor de conversão entre estas duas unidades. Considerou-se, ainda, que o sistema opere com os resíduos gerados 360 dias do ano, 24 horas por dia, o que resulta em 8.640 horas de operação/ano. A eficiência de conversão (*η*) adotada para os resíduos foi de 15%, de baixo rendimento termodinâmico – sistemas compostos de caldeira de 20 bar, turbina de condensador atmosférico (CENBIO, 2008).

Para adequar a fórmula aos dados existentes, como foram estimados os dados de geração de resíduos, adotou-se a equação (2), a seguir.

$$\text{Potencial} = \frac{\text{Resíduos} \times PCI \times \eta}{860 \times \text{func.}} \quad (2)$$

Onde:

Potencial – potencial energético gerado a partir de resíduos no ano (MW);

Resíduos – montante de resíduos gerados por determinada cultura (toneladas);

PCI – poder calorífico inferior (kcal/kg);

η – eficiência de conversão (%);

860 – fator de conversão (kcal/kg para kWh/kg); e

func. – tempo de operação do sistema (horas de operação/ano).

TABELA 21
Poder calorífico dos resíduos das principais culturas

| Cultura | Poder calorífico (kcal/kg) |
|--|----------------------------|
| Café (casca e resíduos) | 3.800 ¹ |
| Cacau (casca e resíduos) | 3.900 ¹ |
| Coco-da-baía | 4.557 ² |
| Castanha-de-caju | 4.700 ³ |
| Soja (palha e resíduos) | 3.300 ¹ |
| Milho (palha, sabugo e resíduos) | 3.570 ¹ |
| Cana-de-açúcar (bagaço e torta de filtro – umidade de 30%) | 3.641 ⁵ |
| Feijão (palha e resíduos) | 3.700 ¹ |
| Arroz (casca e palha) | 3.300 ¹ |
| Trigo (palha e resíduos) | 3.750 ¹ |
| Mandioca | 3.306 ⁴ |

Fonte: ¹ ABIB (2011); ² Coelho, Paletta e Freitas (2000 *apud* CENBIO, 2008); ³ Aalborg Industries S.A. (s.d.); ⁴ Boog, Bizzo e Valle (s.d.); ⁵ Silva e Morais (2008).

2) Cana-de-açúcar (vinhaça)

Para calcular o potencial energético advindo da vinhaça, utilizou-se a metodologia apresentada por Szymanski *et al.* (2010), na qual primeiramente se determina a carga orgânica da vinhaça através da equação (3).

$$CO = Q \times DQO \quad (3)$$

Onde:

CO – carga orgânica ($\text{kgDQO} \cdot \text{dia}^{-1}$);

Q – vazão diária de vinhaça (m^3); e

DQO – demanda química de oxigênio ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), considerada aqui em 11 kg/m^3 .

Com este dado, calcula-se o potencial energético advindo da vinhaça, utilizando-se a equação (4), a seguir.

$$PB = CO \times E \times F \quad (4)$$

Onde:

E – eficiência de remoção de DQO do processo (65%.); e

F – fator de conversão de biogás por DQO removido ($0,45 \text{ Nm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ de DQO removida).

A determinação da quantidade de energia do biogás foi alcançada através da equação (5).

$$GEB = PB \times PCIB \quad (5)$$

Onde:

GEB – quantidade de energia contida no biogás ($\text{Kcal} \cdot \text{dia}^{-1}$); e

$PCIB$ – poder calorífico inferior do biogás ($5.100 \text{ kcal} \cdot \text{Nm}^{-3}$).

Com esses dados, faz-se a estimativa da produção de energia elétrica produzida pela combustão do biogás, usando-se a equação (6).

$$PEEB = GEB \times E_1 \quad (6)$$

Onde:

PEEB – produção de energia pelo biogás (MWh); e

E₁ – eficiência do motor de combustão a gás (28%).

Resultados

A cultura que apresentou maior potencial para geração de energia a partir dos resíduos da agroindústria foi a de cana-de-açúcar, com potencial total para gerar até 16.464 MW/ano, considerando apenas os resíduos de bagaço e torta de filtro (tabela 22). O estado de São Paulo, sendo o maior produtor de cana, foi o que apresentou maior potencial de geração de energia, com aproximadamente 9.537 MW de potência em 2009. Em relação à vinhaça, estimou-se um total de 604.255.461 m³ gerados em 2009, o que corresponde a um potencial total de 333.610 MW (tabela 23).

Outras culturas que também apresentaram potencial considerável para geração de energia foram a de soja, com potencial total de 3.422 MW/ano e maior potencial no Mato Grosso (1.072 MW/ano), e o milho, com potencial total de 2.406 MW/ano e maior potencial no Paraná – 535 MW/ano (tabela 22). O trigo apresentou uma potência total de 238 MW/ano, com a produção concentrada principalmente nos estados da região Sul e maior potencial no estado do Paraná (117 MW/ano). O arroz apresentou uma potência total de 175 MW/ano, também concentrada principalmente na região Sul, e com maior potencial no Rio Grande do Sul (110 MW/ano).

As demais culturas analisadas apresentaram potenciais mais baixos de geração de energia a partir dos resíduos da agroindústria. O feijão apresentou potencial total de 143 MW/ano, mas, devido à sua produção ser bastante pulverizada entre os estados, os potenciais em geral foram baixos, sendo o maior potencial observado no Paraná (32 MW/ano). Entre as culturas permanentes, o maior potencial foi observado para os resíduos do café, com total de 97 MW/ano, destacando-se Minas Gerais (48 MW/ano).

TABELA 22

Potencial energético dos resíduos gerados na agroindústria das principais culturas brasileiras (2009)
(Em MW/ano)

| UFs e grandes regiões | Soja | Milho | Cana-de-açúcar (bagaço e torta) | Feijão | Arroz | Trigo | Café | Cacau | Coco-da-baía | Castanha-de-caju |
|-----------------------|------|-------|---------------------------------|--------|-------|-------|------|-------|--------------|------------------|
| Rondônia | 21 | 17 | 6 | 2 | 2 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| Acre | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Amapá | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Roraima | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pará | 12 | 26 | 17 | 1 | 4 | 0 | 1 | 2 | 5 | 0 |
| Amapá | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tocantins | 52 | 12 | 16 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Norte | 86 | 60 | 50 | 5 | 13 | 0 | 4 | 2 | 6 | 0 |

(Continua)

(Continuação)

| UFs e grandes regiões | Soja | Milho | Cana-de-açúcar (bagaço e torta) | Feijão | Arroz | Trigo | Café | Cacau | Coco-da-baía | Castanha-de-caju |
|-----------------------|--------------|--------------|---------------------------------|------------|------------|------------|-----------|----------|--------------|------------------|
| Maranhão | 72 | 25 | 69 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Piauí | 47 | 24 | 21 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Ceará | 0 | 26 | 57 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 |
| Rio Grande do Norte | 0 | 2 | 104 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| Paraíba | 0 | 5 | 155 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Pernambuco | 0 | 9 | 477 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| Alagoas | 0 | 2 | 657 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Sergipe | 0 | 33 | 64 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 |
| Bahia | 145 | 102 | 114 | 14 | 1 | 0 | 7 | 4 | 9 | 0 |
| Nordeste | 264 | 228 | 1.718 | 35 | 15 | 0 | 7 | 4 | 27 | 8 |
| Minas Gerais | 164 | 310 | 1.432 | 25 | 2 | 5 | 48 | 0 | 1 | 0 |
| Espírito Santo | 0 | 5 | 129 | 1 | 0 | 0 | 25 | 0 | 3 | 0 |
| Rio de Janeiro | 0 | 1 | 159 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| São Paulo | 79 | 174 | 9.537 | 12 | 1 | 5 | 8 | 0 | 1 | 0 |
| Sudeste | 243 | 490 | 11.257 | 38 | 3 | 10 | 81 | 0 | 5 | 0 |
| Paraná | 561 | 535 | 1.320 | 32 | 2 | 117 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Catarina | 59 | 154 | 17 | 7 | 14 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rio Grande do Sul | 479 | 198 | 31 | 5 | 110 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sul | 1.100 | 887 | 1.368 | 45 | 127 | 220 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Mato Grosso do Sul | 241 | 103 | 619 | 1 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mato Grosso | 1.072 | 388 | 397 | 8 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Goiás | 406 | 236 | 1.054 | 11 | 3 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Distrito Federal | 9 | 13 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Centro-Oeste | 1.729 | 741 | 2.072 | 21 | 17 | 8 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Brasil | 3.422 | 2.406 | 16.464 | 143 | 175 | 238 | 97 | 7 | 39 | 8 |

Elaboração dos autores.

TABELA 23
Potencial energético da cana-de-açúcar (vinhaça)
(Em MW/ano)

| UFs e grandes regiões | Vinhaça (m³) | CO (kgDQO/ano) | PB (Nm³) | GEB (kcal) | PEEB (MW/ano) |
|-----------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------------|---------------|
| Rondônia | 228 | 2.507.442 | 733.427 | 3.740.477.051 | 126 |
| Acre | 35 | 382.635 | 111.921 | 570.795.761 | 19 |
| Amazonas | 331 | 3.643.695 | 1.065.781 | 5.435.482.016 | 183 |
| Roraima | 1 | 13.622 | 3.985 | 20.321.215 | 1 |
| Pará | 629 | 6.918.566 | 2.023.680 | 10.320.770.085 | 347 |
| Amapá | 1 | 13.811 | 4.040 | 20.601.813 | 1 |
| Tocantins | 598 | 6.576.412 | 1.923.600 | 9.810.362.004 | 330 |
| Norte | 1.823 | 20.056.182 | 5.866.433 | 29.918.809.946 | 1.007 |
| Maranhão | 2.542 | 27.964.540 | 8.179.628 | 41.716.102.396 | 1.404 |
| Piauí | 774 | 8.509.179 | 2.488.935 | 12.693.567.326 | 427 |
| Ceará | 2.092 | 23.006.976 | 6.729.541 | 34.320.656.896 | 1.155 |
| Rio Grande do Norte | 3.834 | 42.173.960 | 12.335.883 | 62.913.005.427 | 2.117 |
| Paraíba | 5.672 | 62.395.443 | 18.250.667 | 93.078.402.095 | 3.132 |
| Pernambuco | 17.501 | 192.507.886 | 56.308.557 | 287.173.638.791 | 9.662 |
| Alagoas | 24.124 | 265.360.887 | 77.618.059 | 395.852.103.182 | 13.319 |
| Sergipe | 2.346 | 25.810.835 | 7.549.669 | 38.503.312.365 | 1.295 |
| Bahia | 4.167 | 45.838.940 | 13.407.890 | 68.380.239.342 | 2.301 |
| Nordeste | 63.052 | 693.568.646 | 202.868.829 | 1.034.631.027.820 | 34.811 |

(Continua)

(Continuação)

| UFs e grandes regiões | Vinhaça (m ³) | CO (kgDQO/ano) | PB (Nm ³) | GEB (kcal) | PEEB (MW/ano) |
|-----------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|
| Minas Gerais | 52.546 | 578.002.640 | 169.065.772 | 862.235.437.474 | 29.011 |
| Espírito Santo | 4.725 | 51.972.773 | 15.202.036 | 77.530.383.377 | 2.609 |
| Rio de Janeiro | 5.834 | 64.168.979 | 18.769.426 | 95.724.073.677 | 3.221 |
| São Paulo | 350.041 | 3.850.445.590 | 1.126.255.335 | 5.743.902.209.181 | 193.258 |
| Sudeste | 413.145 | 4.544.589.981 | 1.329.292.569 | 6.779.392.103.709 | 228.098 |
| Paraná | 48.449 | 532.934.731 | 155.883.409 | 795.005.384.820 | 26.749 |
| Santa Catarina | 629 | 6.920.773 | 2.024.326 | 10.324.063.421 | 347 |
| Rio Grande do Sul | 1.129 | 12.419.303 | 3.632.646 | 18.526.494.504 | 623 |
| Sul | 50.207 | 552.274.807 | 161.540.381 | 823.855.942.746 | 27.719 |
| Mato Grosso do Sul | 22.706 | 249.761.081 | 73.055.116 | 372.581.092.283 | 12.536 |
| Mato Grosso | 14.589 | 160.474.931 | 46.938.917 | 239.388.478.468 | 8.054 |
| Goiás | 38.675 | 425.428.592 | 124.437.863 | 634.633.101.370 | 21.353 |
| Distrito Federal | 60 | 655.855 | 191.838 | 978.371.995 | 33 |
| Centro-Oeste | 76.029 | 836.320.459 | 244.623.734 | 1.247.581.044.117 | 41.976 |
| Brasil | 604.255 | 6.646.810.074 | 1.944.191.947 | 9.915.378.928.337 | 333.610 |

Elaboração dos autores.

Considerações sobre a utilização dos resíduos

A cana-de-açúcar apresentou um elevado potencial para produção de energia a partir dos resíduos. Os resultados mostram que, se todos os resíduos secos da agroindústria da cana fossem utilizados para a geração de energia, a potência instalada seria superior à da usina de Itaipu (14 mil MW). O setor já é considerado autossuficiente em termos energéticos, atendendo a cerca de 98% da sua própria demanda de energia (Corrêa Neto e Ramón, 2002). Existe também um grande potencial para geração de excedentes que ainda é muito pouco utilizado. Para viabilizar uma maior disponibilização desta energia para a rede elétrica, entretanto, será necessário vencer várias barreiras de ordem técnica, econômica e regulatória, sendo necessários mais incentivos econômicos para motivar os investimentos do setor privado na área. Estudos indicam, porém, serem econômica e financeiramente viáveis os empreendimentos para geração de energia dos resíduos da cana (Dantas Filho, 2009). A queima do bagaço é também vantajosa para as usinas, por eliminar o problema da destinação deste resíduo, que é muito volumoso e de difícil transporte (Biomassa, 2009).

No caso da vinhaça, porém, devido a seu elevado poder fertilizante, o uso para a produção energética torna-se uma alternativa menos atraente. Na maior parte dos casos, a vinhaça é aplicada *in natura* diretamente na lavoura de cana, variando, de acordo com a necessidade do solo, entre 400 e 500 m³/ha, apresentando alta eficiência como fonte de nitrogênio, além de aumentar o teor de cálcio, potássio e fósforo no solo (Granato, 2003). Existem, porém, alternativas que tentam aumentar o potencial de recuperação energética da vinhaça antes de sua disposição final como fertilizante, como a biodigestão anaeróbica, com consequente geração de energia elétrica através do biogás produzido e posterior disposição do efluente na lavoura como fertilizante (Rocha, 2009).

Relativamente ao uso da vinhaça e com base nos dados da produção de 2009 (IBGE, 2010), calculou-se a necessidade de fertirrigação na área plantada de cana-de-açúcar, considerando um uso de 400 m³/ha de vinhaça *in natura* para fertilização, sendo estes dados apresentados na tabela 24. Observou-se que a necessidade de vinhaça para fertirrigação é maior do que a quantidade total de vinhaça gerada com a produção de cana (tabela 23), o que resulta em uma elevada demanda da vinhaça para uso como fertilizante orgânico.

TABELA 24
Quantidade de vinhaça que seria necessária para fertirrigação da área plantada com cana-de-açúcar (2009)¹

| UFs e grandes regiões | Área plantada (ha) | Vinhaça (m ³) |
|-----------------------|--------------------|---------------------------|
| Rondônia | 4.220 | 1.688.000 |
| Acre | 2.541 | 1.016.400 |
| Amazonas | 6.050 | 2.420.000 |
| Roraima | 559 | 223.600 |
| Pará | 9.973 | 3.989.200 |
| Amapá | 70 | 28.000 |
| Tocantins | 9.654 | 3.861.600 |
| Norte | 33.067 | 13.226.800 |
| Maranhão | 46.112 | 18.444.800 |
| Piauí | 12.866 | 5.146.400 |
| Ceará | 42.706 | 17.082.400 |
| Rio Grande do Norte | 67.597 | 27.038.800 |
| Paraíba | 122.888 | 49.155.200 |
| Pernambuco | 352.276 | 140.910.400 |
| Alagoas | 434.005 | 173.602.000 |
| Sergipe | 41.931 | 16.772.400 |
| Bahia | 82.045 | 32.818.000 |
| Nordeste | 1.202.426 | 480.970.400 |
| Minas Gerais | 715.628 | 286.251.200 |
| Espírito Santo | 80.162 | 32.064.800 |
| Rio de Janeiro | 135.130 | 54.052.000 |
| São Paulo | 4.887.820 | 1.955.128.000 |
| Sudeste | 5.818.740 | 2.327.496.000 |
| Paraná | 595.371 | 238.148.400 |
| Santa Catarina | 17.646 | 7.058.400 |
| Rio Grande do Sul | 36.688 | 14.675.200 |
| Sul | 649.705 | 259.882.000 |
| Mato Grosso do Sul | 285.993 | 114.397.200 |
| Mato Grosso | 241.668 | 96.667.200 |
| Goiás | 524.194 | 209.677.600 |
| Distrito Federal | 783 | 313.200 |
| Centro-Oeste | 1.052.638 | 421.055.200 |
| Brasil | 8.756.576 | 3.502.630.400 |

Fonte: IBGE (2010), Granato (2003) e Rocha (2009).

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Considerando um uso de 400 m³/ha.

No caso da soja e do milho, o volume de resíduos gerados e o elevado potencial energético dos resíduos indicam a possibilidade de uso futuro desta energia, entretanto, a tecnologia atual não permite ainda empreendimentos economicamente viáveis de geração de energia a partir dos resíduos destas culturas. No caso do arroz e do trigo, já existe tecnologia disponível. O aproveitamento energético da palha do arroz já tem sido feito em pequenas unidades produtoras (CTENERG, 2001). Para todas estas culturas, porém, são necessários ainda estudos econômicos para avaliar se o uso energético seria mais vantajoso que outros usos alternativos, como cobertura do solo, adubação e nutrição animal. A casca do grão de soja, por exemplo, é um resíduo de alto valor nutricional para alimentação bovina.

Para as culturas do feijão, café, coco, cacau e castanha-de-caju, os baixos potenciais encontrados indicam uma possível inviabilidade de uso econômico da energia dos resíduos para venda no mercado. O uso energético para autoconsumo nas agroindústrias, porém, pode ser viável em alguns casos, mas o uso destes resíduos para a produção de fertilizantes pode constituir uma alternativa economicamente mais vantajosa, principalmente com o aumento da demanda por adubo orgânico resultante do aumento da produção orgânica no Brasil.

Os resíduos da banana, laranja e uva não foram avaliados para uso energético mediante a queima dos resíduos por apresentarem outros usos mais nobres e já serem largamente utilizados como insumos para outros produtos. Atualmente existe uma crescente tendência em agregar valor ou utilizar os resíduos agrícolas de forma mais eficiente. Os resíduos da banana (folhas e engaço), por exemplo, têm sido utilizados para a produção artesanal de cordas, tapetes, chapéus, cestos, tecidos e papéis, no Brasil e em vários outros países, como Costa Rica, Equador e Filipinas. Estes resíduos têm sido também empregados para a produção de polpa celulósica e papel; e para a incorporação a materiais de construção, produtos da indústria automotiva e artigos têxteis (Jarman *et al.*, 1977; Iglesias *et al.*, 1987; Rojas, 1996; Garavello *et al.*, 1997; Soffner *et al.*, 1998).

Outra forma de reaproveitamento dos resíduos da banana é a produção de biocombustível através da conversão do açúcar em álcool por via fermentativa. É possível obter bioetanol a partir da fermentação da banana rejeitada no processo de industrialização, polpa e cascas. O emprego destes resíduos como substrato de fermentação é uma alternativa bastante atraente do ponto de vista do aproveitamento e valorização de resíduos e sobras de produção e industrialização da fruta, mostrando-se de alto potencial para uso na produção de bioetanol, com produtividade próxima à do caldo de cana-de-açúcar (Silva *et al.*, 2009; Souza *et al.*, s.d.).

Os resíduos da laranja também já têm mercado difundido, sendo o principal uso como complemento para a ração animal, tendo boa aceitação por bovinos e caprinos (Alexandrino *et al.*, 2007). O principal produto da laranja é o suco, porém vários subprodutos com valor comercial são obtidos durante seu processo de fabricação. Entre estes subprodutos estão os óleos essenciais, o limonene e o farelo de polpa cítrica. Estes possuem diferentes aplicações no mercado interno e externo, as quais incluem fabricação de produtos químicos e solventes, aromas e fragrâncias, tintas e cosméticos (Silva e Maciel, s.d.). Uma das alternativas de reaproveitamento dos resíduos da laranja é a sua utilização como substrato para a obtenção de enzimas hidrolíticas e oxidativas envolvidas na degradação de materiais lignocelulósicos, ou seja, estes resíduos servem de base para o desenvolvimento destes fungos, utilizados na degradação de materiais compostos por lignina e celulose (Alexandrino *et al.*, 2007). Utiliza-se, ainda, a biomassa residual da laranja como potencial fonte para produção de álcool combustível. As sobras desta fruta são ricas em pectina, celulose e polissacarídeos hemicelulósicos, que podem ser hidrolisados em açúcares e fermentados a álcool.

Os resíduos da uva também já têm valor no mercado. Um dos usos destes resíduos (cascas e sementes de uva) é a alimentação humana, na forma de pães, barras de cereais, entre outros produtos (Loiola, 2007). Outra alternativa de uso é para a alimentação animal (Embrapa, 2007). A compostagem destes resíduos (bagaço, engaço e sementes de uva), a fim de se obter adubo orgânico, vem sendo igualmente utilizada. Pode-se ainda, segundo Oviedo (2005), utilizar-se destes resíduos nas indústrias farmacêuticas, pois as fibras auxiliam no trato gastrointestinal, enquanto os polifenóis atuam no combate ao mau colesterol, atuando, por exemplo, no combate às doenças do coração.

3.2 Pecuária e agroindústrias associadas

Os tópicos a seguir apresentam a situação do setor pecuário e da agroindústria associada, focando particularmente a geração de resíduos e efluentes, potencial de geração de metano e energia elétrica a partir destes resíduos e efluentes, bem como as dificuldades encontradas na realização dos estudos.

3.2.1 Avaliação da geração dos dejetos nas principais criações pecuárias

Considerações gerais

A cada ano, a participação do Brasil no comércio internacional de proteína animal vem crescendo, com destaque para a produção de carne bovina, suína e de frango, conforme informações do Mapa (Brasil, [s.d.]a). Até 2020, segundo o Mapa, a expectativa é que a produção nacional de carne bovina venha a suprir 44,5% do mercado mundial, a carne de frango, 48,1%, e a carne suína, 14,2%. No que tange ao impacto da atividade na economia, o PIB do setor pecuário, (abrangendo a produção dos insumos, a criação animal, as indústrias de processamento associadas e a distribuição da produção) passou de R\$ 191,2 bilhões, em 2001, para R\$ 242,7 bilhões, em 2010, quando o setor pecuário respondeu por 6,6% do PIB nacional (Cepea/ESALQ, s.d.). O aumento da produção animal no Brasil vem sendo possível, conforme informações da FAO (2006), porque os produtores aproveitam os baixos custos de produção alimentar para a pecuária, decorrentes da proximidade entre os estabelecimentos de produção animal e lavouras de milho e soja.

O crescimento da produção animal nos últimos anos decorre das mudanças e modernização dos sistemas utilizados, que incluíram o modelo de produção animal industrial e o sistema de integração vertical. Como características do modelo de produção animal industrial, destacam-se: alta taxa de conversão alimentar, alta taxa de concentração de animais, alta mecanização e pouca mão de obra. No processo de integração vertical, os pequenos produtores são contratados por grandes fornecedores e/ou processadores, por meio da integração total, na qual todas as unidades de uma cadeia produtiva passam a ser controladas por uma única empresa (HSI, 2011).

Associado ao incremento do rebanho animal e à concentração geográfica (os chamados *clusters*), ocorre também o aumento da quantidade de dejetos em pequenas áreas que demandarão sistemas efetivos de tratamento, com vistas a reduzir o impacto potencial associado, sendo este considerado um dos grandes desafios do setor pecuário nos próximos anos.

O crescimento acelerado da produção agropecuária traz consigo um agravamento dos problemas ambientais, tornando obrigatória a inclusão desta questão nas análises setoriais do agronegócio (Cepea/ESALQ, 2006). As atividades agropecuárias são extremamente dependentes dos recursos ambientais, sendo imprescindível a compreensão universal de que, sem equilíbrio ambiental, não há condições de crescimento ou até mesmo continuidade das atividades de criações.

Neste capítulo são apresentados os dados referentes à geração de dejetos nas principais criações animais do Brasil, definidas com base nos dados de tamanho do rebanho obtidos junto ao IBGE para o país e para as cinco regiões geográficas: Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste.

Escopo e limitações do estudo

Os dados obtidos são relativos a 2009, publicados pelo IBGE, sendo estes os mais recentes encontrados para o setor. Os dados referem-se ao rebanho total de cada tipo de criação, o que dificulta a análise, uma vez que são necessários dados distribuídos por sistemas de criação, taxas de crescimento, raça, sexo e o período de permanência dos animais nas instalações.

Convém salientar que, utilizando apenas os dados do tamanho do rebanho e peso dos animais no período de abate para o cálculo da geração de dejetos, a quantidade gerada estaria sendo superestimada. Com vistas a reduzir o erro na estimativa de geração de dejetos, foi desenvolvida uma metodologia que utiliza como base de dados valores médios do peso inicial do animal, peso final e tempo de permanência. Desta forma é possível obter a taxa de crescimento e, por consequência, o peso do animal em cada dia do ciclo. A partir disto, torna-se possível estimar a geração de dejetos por dia e, no final, a soma destes valores possibilita chegar a um valor de dejetos gerados por unidade animal (U.A.).

Relativamente à criação de frangos, igualmente, os dados não são apresentados em termos de criação para exportação e para o mercado nacional, o que faz diferença no cálculo de dejetos, uma vez que o tempo de criação para um e outro é diferente. Para tanto, utilizaram-se dados da Associação Brasileira de Produtores e Exportadores de Frangos (ABEF) concernentes às exportações brasileiras de carne de frango no ano de 2009.

Os problemas associados a esta metodologia se relacionam ao crescimento não linear dos animais. Neste aspecto há carência de referências bibliográficas e técnicas para algumas criações do peso inicial e final, bem como do período de permanência, sendo necessário utilizar dados de conhecimento empírico. Além destas questões, as atividades avaliadas sofrem modificações constantes em termos de ciclos sazonais e são variáveis de produtor para produtor. Em decorrência disto, a geração de dejetos pode variar em função do sistema de criação adotado (confinado ou extensivo), a alimentação fornecida, a raça e o sexo dos animais. Outro item a ser apontado é a falta de dados nacionais para a geração de dejetos que sejam aplicáveis aos dados existentes sobre o rebanho. Apesar destas questões, acredita-se que, com o método utilizado, foram conseguidos resultados aproximados da real quantidade de resíduos gerados.

Os valores apresentados neste relatório são uma estimativa e, para que seja possível refiná-los, são necessárias informações mais específicas para os itens apontados e para cada região.

As taxas de mortalidade por lotes ou ao longo do ano são variáveis em decorrência de epidemias, fatores climáticos, manejo inadequado, entre outros fatores e, para que estes valores possam ser quantificados, é necessário coletar uma maior quantidade de dados. Entretanto, é importante frisar que a mortalidade dos animais acontece em situações específicas, sendo tomadas providências para que sua ocorrência não traga prejuízos aos produtores.

Metodologia

O número efetivo do rebanho de aves de postura, bovinos e suínos no Brasil foi obtido junto ao IBGE, por meio da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) com dados referente a 2009. O rebanho de frangos de corte (que inclui os galos, frangas, frangos e pintos) é o constante da Pesquisa Trimestral do Abate de Animais – PTAA (IBGE, 2009a), igualmente com dados de 2009. Com base nestes dados, foram feitos agrupamentos por região e por rebanho, estimando-se a produção para o Brasil e por regiões, em número de cabeças, para cada tipo de criação.

1) Tamanho efetivo dos rebanhos

A tabela 25 apresenta o rebanho efetivo das principais criações brasileiras no ano de 2009, para o Brasil e para as regiões Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

TABELA 25
Rebanho efetivo das principais criações – Brasil e grandes regiões
(Em cabeças)

| Tipo de rebanho | Brasil | Norte | Nordeste | Sudeste | Sul | Centro-Oeste |
|---|----------------------|------------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| Galos, frangas, frangos e pintos ¹ | 4.773.641.106 | 63.152.379 | 138.893.310 | 1.078.052.775 | 2.870.783.529 | 622.759.113 |
| Galinhas ² | 208.871.491 | 9.074.193 | 40.386.011 | 76.750.514 | 59.709.645 | 22.951.128 |
| Bovinos ² | 205.260.154 | 40.437.159 | 28.289.850 | 37.978.874 | 27.894.576 | 70.659.695 |
| Suínos ² | 38.045.454 | 1.627.822 | 6.290.004 | 6.692.336 | 18.437.986 | 4.997.306 |

Fonte: ¹ IBGE (2009d); ² IBGE (2009a).

Os dados apresentados na tabela 25 mostram que o rebanho de galos, frangos, frangas e pintos, que são aves criadas para corte, é o mais representativo em número de cabeças no Brasil, seguido do rebanho de galinhas (aves de postura), e do rebanho de bovinos.

a) Rebanho de aves

Os segmentos que fazem parte da cadeia produtiva de aves de corte incluem a pesquisa e desenvolvimento genético de linhagens, unidades de avoseiros, unidades “matrizeiro”, incubatórios e aviários. Neste relatório serão trabalhados os dados relativos aos aviários nos quais se dá o crescimento e a engorda dos pintos – que chegam com três dias e ficam até a época de abate – ocorrendo, na maioria das vezes, em sistemas de confinamento, sobre cama e integrados a uma empresa. A empresa integradora disponibiliza os insumos e a genética, e responsabiliza-se pela absorção do frango produzido, enquanto o produtor entra com mão de obra, recursos da propriedade, investimento para construção e manutenção das instalações.

A criação de aves de postura tem como principal meta a produção de ovos para consumo humano. O período de produção de ovos é variável em função da raça e sistema de criação adotado, ocorrendo, em média, entre a vigésima e a octogésima semana de vida (Avila *et al.*, 2006).

O rebanho de frangos de corte é maior nas regiões Sul (60,1% do rebanho brasileiro), Sudeste (22,6%) e Centro-Oeste (13,0%). Por sua vez, o rebanho de galinhas (aves de postura) é maior nas regiões Sudeste (36,7%), Sul (28,6%) e Nordeste (19,3%).

b) Rebanho de bovinos

O rebanho de bovinos se subdivide em dois tipos: bovinos de leite e bovinos de corte. Os bovinos de leite, no caso vacas leiteiras, são destinados à produção de leite e são criadas em sistemas de confinamento ou semiconfinamento.

O rebanho de bovinos de corte tem sua criação em sistemas de confinamento, semi-confinamento ou extensivo e é destinado à produção de carne. O sistema de confinamento, segundo Alencar e Pott (2003), favorece a utilização racional dos fatores de produção e do potencial e da diversidade genética animal e vegetal, enquanto os sistemas extensivos, em regime de pastagens, sujeitam os animais à escassez periódica de forragem, comprometendo seu desenvolvimento e sua eficiência reprodutiva, e concentrando a oferta de carne em

determinada época do ano. Os bovinos podem ser abatidos nas fases de novilho (aproximadamente 300 kg) ou boi (aproximadamente 450 kg). Os vitelos são bezerros predominantemente de raça leiteira, que são criados em confinamento, sendo alimentados com leite e/ou sucedâneos especiais do leite, e são abatidos entre dezesseis e dezoito semanas de idade, com 160-170 kg de peso vivo (Alves e Lizieire, 2001).

O rebanho de bovinos é maior nas regiões Centro-Oeste (34,4% do rebanho brasileiro), Norte (19,7%) e Sudeste (18,5%).

O IBGE não apresenta dados do rebanho bovino separado em gado de corte e de leite. Os dados de cada tipo de criação serão apresentados posteriormente, estimados a partir de dados secundários da quantidade de gado abatido.

c) Rebanho de suínos

A criação de suínos se dá principalmente no sistema de confinamento, com separação em seis tipos de produção: ciclo completo, unidade de produção de leitões sem creche (UPL – 21 dias), unidade de produção de leitões com creche (UPL – 63 dias), terminação, creche e central de inseminação. A maioria dos criadores de suínos é integrada a uma empresa (como ocorre com o frango de corte) e atua em um determinado tipo de produção, exigindo-se mão de obra e instalações específicas.

O rebanho de suínos é maior na região Sul (com 48,5% do rebanho brasileiro), seguido das regiões Sudeste (17,6%) e Nordeste (16,5%).

2) Avaliação da produção de dejetos pelos rebanhos

A produção de dejetos foi calculada com base no tamanho do rebanho, tendo como referência os dados apresentados por Asae (2003), que calcula a geração por kg de animal vivo/dia conforme apresentado na tabela 26.

TABELA 26
Produção média de dejetos de animal vivo
(Em Kg/dia)

| Unidade | Tipo de criação | | | | |
|---------|-----------------|-----------|---------------|---------------|-------|
| | Frango de corte | Poedeiras | Gado de leite | Gado de corte | Suíno |
| Kg | 0,085 | 0,064 | 0,086 | 0,058 | 0,084 |

Fonte: Asae (2003), com adaptações.

Utilizando-se como referência os dados citados, buscou-se estimar para cada tipo de criação a quantidade de dejetos que são gerados por unidade animal (U.A.), levando em consideração o peso inicial do animal, peso final e tempo de permanência no local de criação. Com estes dados, obteve-se uma taxa de crescimento diária, estimando-se, assim, a quantidade de dejetos gerados por dia, por peso vivo animal. A descrição geral das etapas está apresentada a seguir:

1ª etapa:

Cálculo da taxa de crescimento (TC):

$$TC \text{ (kg/dia)} = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{tempo de permanência}$$

2ª etapa:

Cálculo do peso do animal (PA):

$$PA/dia = peso\ final - taxa\ de\ crescimento$$

3ª etapa:

Cálculo da geração de dejetos (GD):

$$GD/dia\ (kg/dia) = (PA/dia) * geração\ dejetos\ (kg/dia)$$

4ª etapa:

Cálculo da geração de dejetos por unidade animal (U.A.):

$$Geração\ de\ dejetos\ U.A. = GD/dia\ (kg/dia)\ no\ período\ de\ permanência$$

5ª etapa:

Cálculo do total de dejetos gerados:

$$Geração\ de\ dejetos\ total\ (kg/lano) = Geração\ de\ dejetos\ U.A. * rebanho$$

3) Geração de dejetos na criação de aves

A geração de dejetos nas criações de aves foi analisada em termos de frangos de corte (divididos em criação para exportação e para mercado interno) e aves de postura.

a) Geração de dejetos na criação de aves de corte

Como o IBGE apresenta apenas dados do rebanho total, sem separar os frangos criados para exportação dos frangos criados para o mercado nacional, utilizaram-se dados da ABEF sobre as exportações brasileiras de carne de frango no ano de 2009 (ABEF, 2010). A partir disso, estimou-se quanto do frango produzido no Brasil e regiões é consumido no mercado nacional e quanto é exportado. As porcentagens da quantidade de frango exportado por região estão apresentadas na tabela 27. As regiões Norte e Nordeste não apresentaram exportações no período.

TABELA 27
Quantidade de frango exportado por região do Brasil
(Em %)

| Regiões | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|------------------|------|---------|--------------|
| Frango exportado | 74,6 | 11,4 | 13,6 |

Fonte: ABEF (2010).

Para o cálculo da geração de dejetos de frangos de corte foram utilizados os dados expressos nas tabelas 28 e 29 em termos de frango produzido para o mercado nacional e para exportação.

TABELA 28
Dados sobre o frango produzido para o mercado nacional

| | |
|-------------------|--------------------|
| Peso inicial (g) | 39 ¹ |
| Peso final (g) | 2.421 ² |
| Permanência (dia) | 47 ² |

Fonte: ¹ Agrinbands (s.d.); ² Sordi, Souza e Magalhães (2004).

TABELA 29
Dados sobre o frango produzido para exportação

| | |
|-------------------|--------------------|
| Peso inicial (g) | 39 ¹ |
| Peso final (g) | 1.200 ² |
| Permanência (dia) | 35 ² |

Fonte: ¹ Agrinbands (s.d.); ² Sordi, Souza e Magalhães (2004).

b) Geração de dejetos na criação de aves de postura

Os dados utilizados para o cálculo da geração de dejetos de aves de postura (Avila *et al.*, 2006) estão apresentados na tabela 30.

TABELA 30
Dados das aves de postura

| | |
|-------------------|-------|
| Peso inicial (g) | 2.000 |
| Peso final (g) | 2.820 |
| Permanência (dia) | 413 |

Fonte: Avila *et al.* (2006), com adaptações.

A geração de dejetos por dia foi calculada conforme o peso da ave, obtendo-se, assim, a média de geração por dia. O valor médio gerado/dia no período de 413 dias foi multiplicado por 365 dias, obtendo-se, desta maneira, a geração por U.A. em um ano.

4) Geração de dejetos de bovinos

A geração de dejetos pela criação de bovinos foi estimada separadamente entre os rebanhos de produção de leite e de corte.

a) Geração de dejetos na criação de bovinos de leite

Para o cálculo da geração de dejetos para vacas leiteiras, utilizou-se como peso médio 450 kg (Usda, 1992) para cada U.A. e período de permanência de 365 dias, ou seja, um ano, no sentido de se poder estimar a geração de dejetos anual.

b) Geração de dejetos na criação de bovinos de corte

O tamanho do rebanho de bovinos de corte foi calculado a partir da subtração do número de vacas ordenhadas no ano de 2009, e do total do rebanho de bovinos no mesmo ano. O rebanho de bovinos de corte em cada fase de criação foi estimado a partir dos dados da quantidade de novilhas, novilhos, bois e vacas abatidos naquele ano.

Como os dados referentes ao peso dos bovinos em cada fase – vitelo(a), novilho(a) e boi (ou vaca) – dependem de diversos fatores como dieta, raça, sexo e sistema de criação, foram determinados como valores médios para o cálculo da geração de dejetos os dados apresentados nas tabelas 31, 32 e 33.

TABELA 31
Dados do rebanho de novilhos e novilhas

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Peso inicial (Kg) | 33 kg ¹ |
| Peso final (Kg) | 300 kg ² |
| Permanência (dia) | 365 dias ² |

Fonte: ¹ Homma *et al.* (2006).
Elaboração dos autores.

TABELA 32
Dados do rebanho de bois e vacas

| | |
|-------------------|-----|
| Peso inicial (Kg) | 300 |
| Peso final (Kg) | 450 |
| Permanência (dia) | 365 |

Elaboração dos autores.

TABELA 33
Dados do rebanho de vitelos e vitelas

| | |
|-------------------|------------------|
| Peso inicial (Kg) | 33 ¹ |
| Peso final (Kg) | 165 ² |
| Permanência (dia) | 120 ² |

Fonte: ¹ Homma *et al.* (2006); ² Alves e Lizieire (2001).

5) Geração de dejetos suínos

Para o cálculo da geração de dejetos suínos foram utilizados os dados apresentados na tabela 34, constante de Amaral *et al.* (2006).

TABELA 34
Dados do rebanho de suínos

| | |
|-------------------|-------|
| Peso inicial (g) | 1.100 |
| Peso final (Kg) | 90 |
| Permanência (dia) | 135 |

Fonte: Amaral *et al.* (2006).

Resultados

Os resultados obtidos são apresentados para o Brasil e por região para cada um dos rebanhos analisados (aves, bovinos e suínos).

1) Geração de dejetos de aves

a) Geração de dejetos de frangos de corte

Os dejetos gerados pela criação dos frangos de corte foram analisados segundo a produção nacional e para exportação. Nas tabelas 35 e 36 são apresentados dados referentes ao rebanho e à geração de dejetos decorrentes da criação de frangos de corte no Brasil e por regiões, para o mercado nacional e para exportação. A criação de frangos de corte tem maior representatividade nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, sendo que a região Sul apresenta a maior porcentagem de frangos destinados para exportação.

TABELA 35
Produção de frangos de corte para o mercado nacional e exportação – Brasil e regiões

| | Frangos de corte (cabeças) ¹ | Frangos de corte (cabeças) Exportação | Frangos de corte (cabeças) Mercado nacional | Exportação (%) ² |
|---------------|---|---------------------------------------|---|-----------------------------|
| Brasil | 4.773.641.106 | 2.349.197.768 | 2.424.443.338 | 49,2 |
| Norte | 63.152.379 | 0 | 63.152.379 | 0 |
| Nordeste | 138.893.310 | 0 | 138.893.310 | 0 |
| Sudeste | 1.078.052.775 | 122.898.016 | 955.154.759 | 11,4 |
| Sul | 2.870.783.529 | 2.141.604.513 | 729.179.016 | 74,6 |
| Centro-Oeste | 622.759.113 | 84.695.239 | 538.063.874 | 13,6 |

Fonte: ¹ IBGE (2009b); ² ABEF (2010).

TABELA 36
Geração de dejetos de frangos de corte – Brasil e regiões (2009)

| | Geração de dejetos (t/ano) Mercado nacional | Geração de dejetos (t/ano) Exportação | Geração de dejetos (t/ano) Total |
|---------------|--|--|-------------------------------------|
| Brasil | 11.913.715 | 4.329.571 | 16.243.286 |
| Norte | 310.331 | 0 | 310.331 |
| Nordeste | 682.522 | 0 | 682.522 |
| Sudeste | 4.693.630 | 226.501 | 4.920.132 |
| Sul | 3.583.186 | 3.946.977 | 7.530.163 |
| Centro-Oeste | 2.644.046 | 156.093 | 2.800.139 |

Fonte: Pesquisa Trimestral de Abate Animal (IBGE 2009) e ABEF (2010).
Elaboração dos autores.

b) Geração de dejetos – galinhas (aves de postura)

Na tabela 37 são apresentados os dados do tamanho do rebanho e a geração de dejetos decorrentes da criação de galinhas (aves de postura) no Brasil e por regiões. Os rebanhos mais representativos são encontrados nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste, que, consequentemente, geram as maiores quantidades de dejetos.

TABELA 37
Rebanho e geração de dejetos de galinhas (aves de postura) – Brasil e grandes regiões (2008)

| | Galinhas (cabeças) ¹ | Geração de dejetos (t/ano) |
|---------------|---------------------------------|----------------------------|
| Brasil | 208.871.491 | 11.782.568 |
| Norte | 9.074.193 | 511.881 |
| Nordeste | 40.386.011 | 2.278.200 |
| Sudeste | 76.750.514 | 4.329.543 |
| Sul | 59.709.645 | 3.368.258 |
| Centro-Oeste | 22.951.128 | 1.294.687 |

Fonte: ¹ IBGE (2009d).

2) Geração de dejetos de bovinos

A geração de dejetos de bovinos foi avaliada em função dos rebanhos de corte e de produção de leite, a partir da estimativa do tamanho do rebanho. Na tabela 38 são apresentados dados do rebanho de vacas ordenhadas e bovinos de corte separados nas categorias *bois e vacas*, e *novilhos e novilhas*, para o Brasil e regiões.

TABELA 38
Produção de bovinos de corte e vacas ordenhadas – Brasil e grandes regiões (2009)
(Em cabeças)

| | Total de bovinos | Vacas ordenhadas | Bois e vacas | Novilhos e novilhas | Vitelos e vitelas |
|---------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Brasil | 205.260.154 | 22.435.289 | 157.199.633 | 25.578.586 | 46.647 |
| Norte | 40.437.159 | 2.661.708 | 37.610.997 | 164.454 | 0 |
| Nordeste | 28.289.850 | 4.794.239 | 19.494.716 | 4.000.895 | 0 |
| Sudeste | 37.978.874 | 7.516.095 | 26.210.635 | 4.227.848 | 24.296 |
| Sul | 27.894.576 | 3.879.605 | 20.122.979 | 3.891.992 | 0 |
| Centro-Oeste | 70.659.695 | 3.583.642 | 60.026.179 | 7.049.874 | 0 |

Fonte: IBGE (2009a).
Elaboração dos autores.

a) Geração de dejetos de bovinos de leite

Na tabela 39 são apresentados dados da geração de dejetos decorrentes da criação de bovinos de leite, no Brasil e por regiões. O maior rebanho é encontrado na região Sudeste, gerando no total mais de 90 milhões de t/ano de dejetos. Para as avaliações de geração de biogás e energia a partir da biodigestão dos dejetos do rebanho de bovinos de leite, considerou-se que esta criação ocorre 100% em sistema confinado, com possibilidade de aproveitamento total, tendo em vista que não foram localizadas informações sobre a quantidade criada em sistema extensivo ou confinado.

TABELA 39
Geração de dejetos das vacas ordenhadas – Brasil e grandes regiões

| | Vacas ordenhadas – Peso vivo (kg) do rebanho total ¹ | Dejetos gerados (t/ano) ² |
|---------------|--|--------------------------------------|
| Brasil | 3.684.996.218.250 | 316.909.675 |
| Norte | 437.185.539.000 | 37.597.956 |
| Nordeste | 787.453.755.750 | 67.721.023 |
| Sudeste | 1.234.518.603.750 | 106.168.600 |
| Sul | 637.225.121.250 | 54.801.360 |
| Centro-Oeste | 588.613.198.500 | 50.620.735 |

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ Peso vivo = (número de vacas ordenhadas * peso médio (450 kg)) * 365 dias.

² Dejetos gerados = (peso vivo * 86 kg de dejeito cada 1.000 kg/animal vivo/dia).

b) Geração de dejetos de bovinos de corte

Na tabela 40 são apresentados dados da geração de dejetos decorrentes da criação de bovinos de corte, no Brasil e por regiões. O maior rebanho e, por consequência, as maiores quantidades de dejetos gerados são verificados nas regiões Centro-Oeste e Norte. Convém lembrar que, para este estudo, foi considerado como se 100% da criação de bovinos de corte ocorresse em sistema extensivo, ficando os dejetos dispostos nos campos onde são criados, uma vez que não foram encontradas informações sobre a quantidade criada em sistema extensivo ou confinado. Sendo assim, estes dejetos não serão agregados aos dejetos com potencial de biodigestão e produção de energia.

TABELA 40
Geração de dejetos dos bovinos de corte – Brasil e grandes regiões

| | Dejetos bovinos de corte – bois e vacas (t/ano) ¹ | Dejetos bovinos de corte – novilhos e novilhas (t/ano) ² | Dejetos bovinos de corte – vitelos e vitelas (t/ano) ³ | Total de dejetos gerados (t/ano) |
|---------------|---|--|--|-------------------------------------|
| Brasil | 1.247.968.583 | 90.164.515 | 325.611 | 1.338.458.709 |
| Norte | 298.584.303 | 579.700 | 0 | 299.164.003 |
| Nordeste | 154.763.674 | 14.103.156 | 0 | 168.866.830 |
| Sudeste | 208.079.676 | 14.903.166 | 169.595 | 223.152.437 |
| Sul | 159.751.303 | 13.719.270 | 0 | 173.470.573 |
| Centro-Oeste | 476.532.826 | 24.850.807 | 0 | 501.383.633 |

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ Tamanho do rebanho (bois e vacas) * resíduos gerados por U.A. (300 a 450 kg)/ano.

² Tamanho do rebanho (novilhos e novilhas) * resíduos gerados por U.A. (33 a 300 kg)/ano.

³ Tamanho do rebanho (vitelos e vitelas) * resíduos gerados por U.A. (33 a 165 kg)/ano.

3) Geração de dejetos de suínos

Na tabela 41, são apresentados dados do rebanho e quantidade de dejetos decorrentes da criação de suínos no Brasil e regiões. A criação de suínos tem destaque na região Sul do país, com um rebanho praticamente três vezes maior que nas regiões Nordeste e Sudeste, onde há, aproximadamente, 6 milhões de cabeças de suínos.

TABELA 41
Produção de suínos e geração de dejetos – Brasil e grandes regiões

| | Suínos (cabeças) ¹ | Dejetos gerados (t/ano) |
|---------------|-------------------------------|-------------------------|
| Brasil | 38.045.454 | 20.379.732 |
| Norte | 1.627.822 | 871.972 |
| Nordeste | 6.290.004 | 3.369.354 |
| Sudeste | 6.692.336 | 3.584.870 |
| Sul | 18.437.986 | 9.876.639 |
| Centro-Oeste | 4.997.306 | 2.676.897 |

Fonte: ¹ IBGE (2009d).
Elaboração dos autores.

4) Geração total de dejetos

As quantidades estimadas de dejetos gerados pelas principais criações animais no Brasil e nas regiões em de 2009 são apresentadas na tabela 42. Observa-se que a região Centro-Oeste gerou a maior quantidade de dejetos pecuários do Brasil (559 milhões de t), sendo a criação de bovinos de corte (bois e vacas) a que mais contribuiu para isto.

TABELA 42
Quantidade de dejetos gerados pelas principais criações animais – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Frangos de corte (t/ano) | Postura (t/ano) | Vacas ordenhadas (t/ano) | Bovinos de corte – bois e vacas (t/ano) | Bovinos de corte – novilhos e novilhas (t/ano) | Bovinos de corte – vitelo (t/ano) | Suínos (t/ano) | Total de dejetos gerados (t/ano) |
|---------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|---|--|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Brasil | 16.243.286 | 11.782.568 | 316.909.675 | 1.247.968.583 | 90.164.515 | 325.611 | 20.379.732 | 1.703.773.970 |
| Norte | 310.331 | 511.881 | 37.597.956 | 298.584.303 | 579.700 | 0 | 871.972 | 338.456.143 |
| Nordeste | 682.522 | 2.278.200 | 67.721.023 | 154.763.674 | 14.103.156 | 0 | 3.369.354 | 242.917.929 |
| Sudeste | 4.920.132 | 4.329.543 | 106.168.600 | 208.079.676 | 14.903.166 | 169.595 | 3.584.870 | 342.155.582 |
| Sul | 7.530.163 | 3.368.258 | 54.801.360 | 159.751.303 | 13.719.270 | 0 | 9.876.639 | 249.046.993 |
| Centro-Oeste | 2.800.139 | 1.294.687 | 50.620.735 | 476.532.826 | 24.850.807 | 0 | 2.676.897 | 558.776.091 |

Elaboração dos autores.

Na tabela 43, são apresentados, para o Brasil e regiões, o total de dejetos gerados e a quantidade de dejetos aproveitáveis para biodigestão (aqueles dejetos gerados em sistemas confinados de criação animal, que incluem neste estudo as criações de aves de corte e postura, bovinos de leite e suínos). Observou-se uma geração total de 365 milhões de t de dejetos aproveitáveis para biodigestão no Brasil, sendo a maior quantidade proveniente da região Sudeste (119 milhões de t).

A produção de dejetos por unidade de área em cada região, obtida a partir do total de dejetos gerados (t/ano) dividido pela extensão territorial de cada região (km²), está apresentada também na tabela 43. A região Sul foi a que apresentou a maior concentração de dejetos por área (441,7 t/ano/km²).

TABELA 43
Geração total de dejetos animais e de dejetos aproveitáveis para biodigestão – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Total de dejetos gerados | | Dejetos aproveitáveis para biodigestão | |
|---------------|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| | (t/ano) | (t/ano.km ²) | (t/ano) | (t/ano.km ²) |
| Brasil | 1.731.352.738 | 203,6 | 365.315.261 | 43,0 |
| Norte | 338.456.143 | 87,8 | 39.292.140 | 10,2 |
| Nordeste | 242.917.929 | 156,3 | 74.051.099 | 47,6 |
| Sudeste | 342.155.582 | 370,1 | 119.003.145 | 128,7 |
| Sul | 249.046.993 | 441,7 | 75.576.420 | 134,0 |
| Centro-oeste | 558.776.091 | 347,9 | 57.392.458 | 35,7 |

Elaboração dos autores.

Considerações acerca dos resultados

As maiores quantidades de resíduos gerados por kg de peso vivo (PV), com base nos dados da ASAE (2003), são resultantes das criações de gado de leite (0,086 kg/kg PV), frango de corte (0,085 kg/kg PV) e suínos (0,084 kg/kg PV).

A problemática que envolve as criações de suínos é decorrente das características dos dejetos, que, por serem líquidos e possuírem alta taxa orgânica (0,0031 kg DBO/kg PV), segundo ASAE (2003), demandam amplos sistemas de armazenamento e tratamento, com períodos prolongados de detenção. Além disso, em decorrência do alto custo para serem transportados, frequentemente são aplicados em áreas próximas, que apresentam solos já saturados. O Sul – em especial o estado de Santa Catarina – é a região que necessita de mais atenção quanto a este problema.

O rebanho que mais contribui com a geração de dejetos em todas as regiões é o de gado de corte (bois e vacas), porém são necessários dados referentes ao sistema de criação (extensivo ou confinado) para se definir o grau de impacto deste rebanho. No caso de criação extensiva, o potencial poluidor é reduzido, em decorrência de os dejetos serem distribuídos em uma extensão relativamente grande de terra e diretamente incorporados ao solo, produzindo-se pastagens utilizadas na alimentação do próprio rebanho. Deve-se ter cuidado para que, no entanto, o número de animais não ultrapasse a capacidade do solo.

O segundo maior gerador de dejetos em todas as regiões é o rebanho leiteiro, que possui um maior destaque na região Sudeste, em especial no estado de Minas Gerais.

Em relação ao rebanho de galinhas (aves de postura), apesar de ser responsável pela segunda menor porção de dejetos gerados no Brasil, é importante gerenciá-lo adequadamente, devido ao seu alto potencial orgânico – 0,0033 kg DBO/kg PV, segundo ASAE (2003) –, semelhante ao dos suínos.

Quanto aos dejetos das aves de corte, estes possuem uma grande representatividade nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Os resíduos gerados na atividade de avicultura apresentam menor periculosidade se comparados aos resíduos gerados na suinocultura, porém a problemática relacionada a estes envolve a quantidade de resíduos gerados e a distribuição das criações, que, muitas vezes, concentram-se em alguns pontos, criando os chamados *clusters*.¹

1. Agrupamento geograficamente concentrado de empresas inter-relacionadas e instituições correlatas em uma determinada área, vinculados por elementos comuns e complementares.

Com base apenas no total de dejetos gerados por região apresentados na tabela 43, destaca-se o Centro-Oeste, com uma produção estimada em 559 milhões t/ano; a região Norte, com uma produção estimada, em 338 milhões t/ano; e o Sudeste, com uma produção estimada em 342 milhões t/ano. Ao se agregar a informação referente à extensão territorial, verifica-se que as maiores concentrações de dejetos são encontradas no Sul (441,7 t/ano/km²), no Sudeste (370,1 t/ano/km²), e no Centro-Oeste (347,9 t/ano/km²). Desconsiderando a quantidade de dejetos gerados pela criação de gado de corte, por este ser criado principalmente de maneira extensiva, o que inviabiliza o aproveitamento da maior parte dos resíduos, o cenário modificou-se, reduzindo-se expressivamente a quantidade de dejetos aproveitáveis da região Centro-Oeste. Neste novo cenário, verifica-se que a maior quantidade de dejetos gerados em sistemas confinados de criação animal ocorre nas regiões Sul e Sudeste gerando 134 t/ano/km² e 128,7 t/ano/km², respectivamente.

3.2.2 Geração de resíduos (sólidos e líquidos) nas indústrias primárias ligadas ao setor pecuário do Brasil

Considerações gerais

Os dados apresentados no item referente ao rebanho brasileiro mostram a grande representatividade do setor pecuário no Brasil. Em consequência, uma rede de indústrias primárias é necessária para fazer o abate, processamento e embalagem da carne e do leite. Entre as principais indústrias primárias associadas a este setor, estão os abatedouros, graxarias e laticínios.

Abatedouros ou matadouros, segundo Fernandes e Lopes (2008), realizam o abate dos animais, produzindo carcaças (carne com ossos) e vísceras comestíveis. Algumas unidades também fazem a desossa das carcaças e produzem os chamados “cortes de açougue”, porém não industrializam a carne. Os principais processos que ocorrem em matadouro-frigorífico são: recepção dos animais em currais, condução e lavagem destes, atordoamento e sangria, esfolagem e remoção da cabeça, evisceração, corte e limpeza da carcaça e refrigeração (Pacheco e Yamanaka, 2006).

Os despejos dos estabelecimentos de processamento de carnes contêm basicamente sangue, gorduras, excrementos, substâncias estomacais dos animais, resíduos derivados da fabricação de embutidos e da lavagem de pisos, equipamentos e utensílios. O sangue tem a demanda química de oxigênio (DQO) mais alta de todos os efluentes líquidos gerados no processamento de carnes. Sangue líquido bruto tem uma DQO em torno de 400 g/L, uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) de aproximadamente 200 g/L e uma concentração de nitrogênio de cerca de 30 g/L (Fernandes e Lopes, 2008).

Conforme o *Guía de protección ambiental: material auxiliar para la identificación y evaluación de impactos ambientales* (Alemanha, 1996), existem possibilidades de aproveitamento dos resíduos de abatedouros, apresentadas no quadro 1.

QUADRO 1
Possibilidades de aproveitamento dos resíduos

| Subproduto ou resíduo | Indústria complementar | Produto | Aplicação |
|--|--------------------------------|-----------------------|---|
| Sangue | Preparação de sangue | Plasma | Indústria alimentícia |
| Sangue | Aproveitamento de gado abatido | Farinha de sangue | Alimento para animais |
| Pelo/crina | Preparação de pelos | Pincéis | Gerais |
| Esterco/resíduos de estômago e intestino | - | Composto/biogás | Fertilizantes, energia |
| Couro/pele | Curtumes/indústria do couro | Couro | Artigos de couro |
| Ossos (não apto) | Fusão de graxa | Graxa/farinha de osso | Indústria de sabão, alimento para animais |
| Ossos (aptos) | Fusão de graxa | Gelatina de graxa | Indústria alimentícia |
| Sebo | Fusão de graxa | Graxa alimentícia | Indústria alimentícia |

Fonte: República Federal da Alemanha (1996), com adaptações.

Conforme definição de Fernandes e Lopes (2008), as graxarias processam subprodutos e/ou resíduos dos abatedouros ou frigoríficos e de casas de comercialização de carnes (açougues), como sangue, ossos, cascos, chifres, gorduras, aparas de carne, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária, e vísceras não comestíveis

As graxarias são unidades de processamento normalmente anexas aos matadouros, frigoríficos ou unidades de industrialização de carnes, mas também podem ser autônomas. Elas utilizam resíduos das operações de abate e de limpeza das carcaças e das vísceras, partes dos animais não comestíveis e aquelas condenadas pela inspeção sanitária, ossos, aparas de gordura, carne da desossa e resíduos de processamento da carne, para produção de farinhas ricas em proteínas, gorduras e minerais (usadas em rações animais e em adubos) e de gorduras ou sebos (usados em sabões, sabonetes e em outros produtos derivados de gorduras). Há graxarias que também produzem sebo e/ou o chamado adubo organo-mineral somente a partir dos ossos, normalmente recolhidos em açougues (Pacheco e Yamanaka, 2006).

Os principais mercados atendidos pelas graxarias, conforme Pacheco (2006), por meio do sebo industrial e das farinhas, são:

- rações animais, principalmente para aves (farinhas de carne, de ossos e de sangue e sebo); e
- farmacêutico, cosméticos, glicerina e outras aplicações industriais (sebo ou gordura animal).

Entre os resíduos gerados em graxarias, a maior parte é de efluentes; eventuais perdas residuais são normalmente reincorporadas no processo (reuso interno). Os efluentes das graxarias são gerados durante as operações de lavagem de caminhões/veículos, de pisos e equipamentos, de eventuais derramamentos durante a descarga de digestores, de lançamento das águas dos condensadores, de separação da fase aquosa do sebo (decantação do sebo), de drenagem de soluções aquosas de lavadores de gases, e de drenagem de águas pluviais de pátios abertos onde haja estocagem de matérias-primas. Os despejos de graxarias possuem altos valores de DBO_5 e DQO, parâmetros utilizados para quantificar carga poluidora orgânica nos efluentes, sólidos em suspensão, graxas e material flutuante. Fragmentos de carne, de gorduras, de vísceras e de tecidos orgânicos diversos normalmente podem ser encontrados nos efluentes (Pacheco, 2006).

Na indústria de laticínios ocorre o processamento do leite e derivados, sendo que as operações e atividades variam em função dos produtos a serem obtidos. São considerados como laticínios leite pasteurizado, leite desnatado, queijos, cremes de leite, manteiga, leite

condensado, doce de leite, iogurte, bebidas fermentadas e sorvetes. De forma genérica, Maganha (2008) apresenta como etapas da indústria de produtos lácteos: recepção de leite e ingredientes, processamento, tratamento térmico, elaboração de produtos, envase e embalagem, armazenamento e expedição.

Na indústria de laticínios, as operações de limpeza de silos, tanques, pasteurizadores, homogeneizadores, tubulações etc. geram um grande volume de efluente com uma elevada carga orgânica. Esta carga orgânica é constituída basicamente de leite (tanto matéria-prima quanto seus derivados), resultando em um efluente com elevadas taxas de DQO e DBO, óleos e graxas, nitrogênio, fósforo etc. Além disso, o sistema de limpeza automática (*cleaning in place* – CIP) descarta águas de enxágue com pH que varia de 1,0 a 13,0, agravando a problemática do tratamento (Brião, 2000). A DBO total está relacionada diretamente a perdas de leite (90% a 94% da DBO do efluente) e, em alguns casos, estas perdas podem chegar a 2% do volume total processado na indústria (Wastewater, 1999 *apud* Brião, 2000).

Segundo Brião (2000), o volume de efluente gerado pelas usinas de beneficiamento de leite varia de acordo com cada processo e produto produzido.

Escopo e limitações do estudo

Nesta seção serão apresentados os dados referentes à geração de dejetos nas indústrias primárias ligadas ao setor pecuário (abatedouros, graxarias e laticínios). Os dados da quantidade de animais abatidos e produção de leite foram obtidos junto ao IBGE para o país e suas regiões geográficas.

Não foram consideradas para este relatório as agroindústrias de curtimento do couro (curtume), laticínios que fazem o processamento de produtos derivados do leite e de embalagem de ovos, pelas seguintes questões listadas a seguir.

- 1) Para o curtimento do couro são utilizados diversos produtos químicos, entre eles o cromo. Os resíduos gerados por esta indústria são classificados segundo a NBR 10.004/04 (ABNT, 2004) em resíduos classe I – perigosos, demandando, desta forma, um tratamento e destino especial, já especificado na legislação, não sendo possível utilizá-los na produção de bioenergia.
- 2) O processamento do leite para outros produtos não foi abordado por não se possuir dados das quantidades de cada produto. Outra questão refere-se ao soro produzido na produção do queijo, pois, em função de seu valor nutricional, entende-se que não seja descartado mas, sim, utilizado na produção de lactose e alimentação de animais.
- 3) Quanto à indústria de embalagens de ovos, como não é realizado nenhum processamento, os resíduos gerados são poucos e em sua maioria com potencial de reciclabilidade ou utilização na alimentação animal.

Metodologia

Os dados referentes à quantidade de animais abatidos no Brasil e nas cinco grandes regiões foram obtidos junto ao IBGE – dados da Pesquisa Trimestral de Abate de Animais, Produção de Leite, Couro e Ovos, no ano de 2009 (IBGE, 2009a). A produção de leite foi obtida junto ao IBGE – dados da Pesquisa Trimestral do Leite, no ano de 2009 (IBGE, 2009b).

Na tabela 44, são apresentados os dados da quantidade de suínos e aves no ano de 2009, no Brasil e nas cinco regiões. O peso vivo (PV) dos suínos abatidos foi obtido com base no número de cabeças multiplicado pelo peso médio final dos animais, ou seja, no momento do abate 90 kg (Amaral *et al.*, 2006).

TABELA 44
Quantidade de aves e suínos abatidos e peso vivo (PV) dos suínos – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Aves | | Suínos | |
|---------------|---|---|---|---|
| | Animais abatidos (cabeças/ano) ¹ | PV dos animais abatidos (kg) ² | Animais abatidos (cabeças/ano) ¹ | PV dos animais abatidos (kg) ² |
| Brasil | 4.773.641.106 | | 30.932.830 | 2.783.954.700 |
| Norte | 63.152.379 | | 18.191 | 1.637.190 |
| Nordeste | 138.893.310 | | 446.723 | 40.205.070 |
| Sudeste | 1.078.052.775 | | 5.357.734 | 482.196.060 |
| Sul | 2.870.783.529 | | 20.815.244 | 1.873.371.960 |
| Centro-Oeste | 622.759.113 | | 4.294.938 | 386.544.420 |

Fonte: IBGE (2009b) e Amaral *et al.* (2006).

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ Dados do IBGE (2009b).

² PV dos suínos abatidos = número de animais abatidos * 90 kg.

Na tabela 45 são apresentados os dados da quantidade de bovinos de corte abatidos em cada fase de criação (bois e vacas, novilhos e novilhas, vitelos e vitelas) e a quantidade de leite produzida em 2009. O PV dos animais abatidos foi obtido com base no número de cabeças multiplicado pelo peso médio final dos animais, ou seja, no momento do abate, sendo 450 kg para bois e vacas, 300 kg para novilhos e novilhas e 165 kg para vitelos e vitelas (Alves e Lizieire, 2001).

TABELA 45
Quantidade de bovinos abatidos e produção de leite – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Bovinos de corte | | | | | | Bovinos de leite |
|---------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---|--|
| | Bois e vacas | | Novilhos e novilhas | | Vitelos e vitelas | | Quantidade de leite produzido (1 mil L) ¹ |
| | Quantidade (cabeças) ¹ | PV dos animais abatidos (kg) ² | Quantidade (cabeças) ¹ | PV dos animais abatidos (kg) ² | Quantidade (cabeças) ¹ | PV dos animais abatidos (kg) ² | |
| Brasil | 24.129.345 | 10.858.205.250 | 3.926.183 | 1.177.854.900 | 7.160 | 1.181.400 | 19.497.875 |
| Norte | 5.299.261 | 2.384.667.450 | 23.171 | 6.951.300 | 0 | 0 | 1.343.845 |
| Nordeste | 2.367.883 | 1.065.547.350 | 485.960 | 145.788.000 | 0 | 0 | 1.056.930 |
| Sudeste | 5.509.477 | 2.479.264.650 | 888.694 | 266.608.200 | 5.107 | 842.655 | 7.839.498 |
| Sul | 2.317.255 | 1.042.764.750 | 448.181 | 134.454.300 | 0 | 0 | 6.093.804 |
| Centro-oeste | 8.635.469 | 3.885.961.050 | 1.014.207 | 304.262.100 | 0 | 0 | 3.163.798 |

Fonte: IBGE (2009b).

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ Dados do IBGE (2009b).

² Bois e vacas = número de cabeças * 450 kg; Novilhos e Novilhas = número de cabeças * 300 kg; Vitelos e vitelas = número de cabeças * 165 kg.

1) Abatedouros de aves

Da pesquisa bibliográfica realizada referente aos abatedouros de aves, o trabalho que apresentou uma listagem mais completa dos resíduos gerados nestas indústrias foi de autoria de Padilha *et al.* (2005).

Nas tabela 46 e 47, são apresentados os resultados obtidos no estudo citado, para uma unidade industrial com capacidade de abate médio de 165 mil aves/dia.

TABELA 46
Quantidades de resíduos sólidos gerados na produção diária de um abatedouro de frangos

| Tipo | Quantidades (kg) ¹ |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Penas | 18.500 |
| Vísceras cruas | 26.000 |
| Cabeças | 7.000 |
| Pés | 1.500 |
| Peles | 1.500 |
| Gorduras | 300 |
| Ossos | 6.000 |
| Resíduos de cama de aviário | 1.000 |
| Restos de carcaças (resíduos) | 18.200 |

Fonte: Padilha *et al.* (2005), com adaptações.
Nota: ¹ Capacidade de abate médio de 165 mil aves/dia.

TABELA 47
Quantidades de resíduos líquidos gerados na produção diária de um abatedouro de frangos

| Tipo | Quantidades (L/kg/m ³) – diário ¹ |
|-------------------|--|
| Sangue | 14.000 |
| Borra do flotador | 9.000 |
| Efluente líquido | 2.400 |

Fonte: Padilha *et al.* (2005), com adaptações.
Nota: ¹ Capacidade de abate médio de 165 mil aves/dia.

Utilizando-se como base os valores das tabelas 46 e 47, bem como a capacidade de abate/dia do referido abatedouro, determinou-se um índice de geração média de resíduo por cada U.A. O índice obtido está apresentado na tabela 48.

TABELA 48
Quantidade de resíduos gerados em abatedouro de aves

| Tipo | Quantidade (kg/U.A.) ¹ |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Penas | 0,112 |
| Vísceras cruas | 0,158 |
| Cabeças | 0,042 |
| Pés | 0,009 |
| Peles | 0,009 |
| Gorduras | 0,002 |
| Ossos | 0,036 |
| Resíduos de cama de aviário | 0,006 |
| Restos de carcaças (resíduos) | 0,110 |
| Sangue | 0,085 (L/U.A.) |
| Borra do flotador | 0,055 |
| Efluente líquido | 0,015 (m ³ /U.A.) |

Fonte: Padilha *et al.* (2005), com adaptações.
Elaboração dos autores.
Nota: ¹ Capacidade de abate médio de 165 mil aves/dia.

Os índices apresentados na tabela 48 foram aplicados ao número de aves abatidas em 2009, obtendo-se, assim, uma estimativa da quantidade de resíduos sólidos, semissólidos e líquidos gerados para o Brasil e para as cinco regiões.

2) Abatedouros de bovinos e suínos

A estimativa de geração de resíduos em abatedouros de bovinos e suínos foi calculada com base nos dados publicados por CETESB (1993) e UNEP, Depa e Cowi (2000 *apud* Pacheco e Yamanaka, 2006). Os dados utilizados estão apresentados na tabela 49.

TABELA 49
Geração de resíduos em abatedouros de bovinos e suínos

| Resíduos (origem) | Quantidade (kg/cabeça, bovino de 250 kg de peso vivo) | Quantidade (kg/cabeça, suíno de 90 kg de peso vivo) |
|--|---|---|
| Esterco (currais/pocilga) | 4,5 | 1,6 |
| Pelos/partículas de couro (depilação) | - | 1,0/1,0 |
| Material não comestível para graxaria (ossos, gordura, cabeça, partes condenadas etc. – abate) | 95 | 18 |
| Conteúdo estomacal e intestinal (bucharia e triparia) | 20-25 | 2,7 |
| Sangue (abate) | 15-20 L | 3,0 L |

Fonte: CETESB (1993); UNEP, Depa e Cowi (2000 *apud* Pacheco e Yamanaka, 2006).

Os dados da tabela 49 foram multiplicados pelo PV dos animais abatidos (tabela 45), estimando-se, assim, a quantidade de resíduos gerados nos abatedouros de bovinos e suínos.

Durante o processo de abate, além de resíduos oriundos do animal, outros resíduos líquidos – denominados efluentes líquidos – são gerados, decorrentes da água utilizada para lavagem dos animais, das instalações, equipamentos e resfriamento de compressores. A estimativa da quantidade de efluentes gerados foi calculada com base nos dados publicados por Dias (1999) e apresentada na tabela 50.

TABELA 50
Consumo de água para o abate de suínos e bovinos

| | Consumo (L/animal) |
|---------|--------------------|
| Bovinos | 600 a 800 |
| Suínos | 300 a 500 |

Fonte: Dias (1999).

3) Graxarias

A estimativa da geração de efluentes gerados em graxarias foi calculada com base na quantidade de água consumida, apresentada na tabela 51.

TABELA 51
Consumo de água em graxarias

| Uso da água | Consumo (L/t material processado) |
|---|-----------------------------------|
| Caldeira | 150 a 200 |
| Condensador do cozimento ou da digestão | 200 a 500 |
| Limpeza | 200 a 300 |
| Total | 550 a 1.000 |

Fonte: UNEP, Depa e Cowi (2000 *apud* Pacheco, 2006).

A quantidade de sangue gerada nos abatedouros (em L) foi convertida em kg, considerando-se como valor da densidade o mesmo que a do sangue humano, que é de 1,056 kg/L.

4) Laticínios

A geração de efluentes em laticínios foi calculada com base na quantidade de água consumida no processamento do leite, que, segundo Fernandes e Lopes (2008), é, em média, de 1,0 e 6,0 L/kg de leite recebido. Utilizou-se como referência a densidade média do leite, de 1,032 g/ml (Brito *et al.*, s.d.).

Resultados

Os resultados são apresentados por tipo de indústria, para o Brasil e por região.

1) Abatedouros de aves

Na tabela 52 são apresentados os dados estimados de resíduos gerados nos abatedouros de aves do Brasil e por região. Observa-se que as maiores quantidades de resíduos produzidos na atividade de abate de aves são geradas na região Sul, seguida pelas regiões Sudeste e Centro-Oeste. Estas também são as regiões com os maiores rebanhos, como apontado no item que trata sobre as criações de aves de corte.

TABELA 52
Estimativa dos resíduos gerados nos abatedouros de aves – Brasil e grandes regiões (2003)

| | Brasil | Norte | Nordeste | Sudeste | Sul | Centro-Oeste |
|------------------------------------|----------------------|------------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| Animais abatidos (cabeça) – 2009 | 4.773.641.106 | 63.152.379 | 138.893.310 | 1.078.052.775 | 2.870.783.529 | 622.759.113 |
| Penas (kg) | 535.226.427 | 7.080.721 | 15.572.886 | 120.872.584 | 321.875.729 | 69.824.507 |
| Vísceras cruas (kg) | 752.210.114 | 9.951.284 | 21.886.219 | 169.874.983 | 452.365.889 | 98.131.739 |
| Cabeças (kg) | 202.518.108 | 2.679.192 | 5.892.443 | 45.735.572 | 121.790.816 | 26.420.084 |
| Pés (kg) | 43.396.737 | 574.113 | 1.262.666 | 9.800.480 | 26.098.032 | 5.661.446 |
| Peles (kg) | 43.396.737 | 574.113 | 1.262.666 | 9.800.480 | 26.098.032 | 5.661.446 |
| Gorduras (kg) | 8.679.347 | 114.823 | 252.533 | 1.960.096 | 5.219.606 | 1.132.289 |
| Ossos (kg) | 173.586.949 | 2.296.450 | 5.050.666 | 39.201.919 | 104.392.128 | 22.645.786 |
| Restos de carcaças (resíduos) (kg) | 526.547.080 | 6.965.899 | 15.320.353 | 118.912.488 | 316.656.123 | 68.692.217 |
| Sangue (L) | 405.036.215 | 5.358.384 | 11.784.887 | 91.471.145 | 243.581.633 | 52.840.167 |
| Resíduos de cama de aviário (kg) | 28.931.158 | 382.742 | 841.778 | 6.533.653 | 17.398.688 | 3.774.298 |
| Borra do flotorador (kg) | 260.380.424 | 3.444.675 | 7.575.999 | 58.802.879 | 156.588.192 | 33.968.679 |
| Efluente líquido (m ³) | 69.434.780 | 918.580 | 2.020.266 | 15.680.768 | 41.756.851 | 9.058.314 |
| Total (kg) | 2.574.873.081 | 34.064.010 | 74.918.210 | 581.495.133 | 1.548.483.237 | 335.912.491 |
| Total (L) | 405.036.215 | 5.358.384 | 11.784.887 | 91.471.145 | 243.581.633 | 52.840.167 |
| Total (m ³) | 69.434.780 | 918.580 | 2.020.266 | 15.680.768 | 41.756.851 | 9.058.314 |

Elaboração dos autores.

Segundo Padilha *et al.* (2005), aos resíduos gerados em abatedouros de aves são dados os usos listados a seguir.

- 1) Sangue e penas: fábrica de subprodutos através do processo de cozimento.
- 2) Vísceras, cabeças, pés, peles, gorduras, ossos e carcaças desclassificadas: fábrica de subprodutos ou, dependendo da maneira do processo de fabricação de *petfood* (matéria-prima é um subproduto proveniente de um processo secundário obtido no curso de fabricação de um produto principal), pode ser processado cru ou cozido.

- 3) Resíduos de camas de aviários: adubação, compostagem ou até mesmo cozimento.
- 4) Borra de flotador: aproveitamento na produção de matéria-prima para rações, compostagem ou tratamento através de biodigestor.

Segundo Bellaver (2010), a utilização de borra de lodo de flotador frigorífico envolve tempos de retenção em sistemas de tratamentos, temperaturas altas e hidrólises, produzindo materiais muito peroxidados, com valores inaceitáveis para as boas práticas de alimentação animal. Com raras exceções, não há o que fazer com a borra de lodo para uso na alimentação animal. Diluições da borra e a indicação do uso de antioxidante nos sistemas de tratamento de efluentes são totalmente descabidas e não recomendáveis, pois não atacam a causa da peroxidação, que são os erros nos processos produtivos de farinha. Segundo o mesmo autor, o uso mais aconselhável é a compostagem.

A farinha de penas, atualmente, é usada na produção da própria ração animal, podendo ainda ser exportada. A farinha de vísceras, em função das exigências de clientes do Mercado Comum Europeu e Arábia Saudita, não pode ser misturada à ração do frango. No Brasil e no Mercosul, já existe mercado consumidor para farinhas de vísceras, que são usadas na produção de produtos *petfood* para ração animal (cães e gatos) (Padilha *et al.*, 2005).

Com base nessas informações, identifica-se que o total de resíduos gerados em abatedouros de aves que possuem potencial de serem utilizados na produção de biogás e posterior conversão em energia são os resíduos da cama de aviário, borra do flotador e efluente líquido.

2) Abatedouros de bovinos

Na tabela 53 são apresentados os dados estimados de resíduos gerados nos abatedouros de bovinos do Brasil e por região.

TABELA 53
Estimativa dos resíduos gerados nos abatedouros de bovinos – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Peso total dos bovinos abatidos | Quantidade gerada | | | | Água consumida (mil. L) – abate ² |
|---------------|---------------------------------|---------------------------|---|---|----------------------------------|--|
| | | Esterco (kg) ¹ | Material não comestível para graxaria (kg) ¹ | Conteúdo estomacal e intestinal (kg) ¹ | Sangue (L) ¹ | |
| Brasil | 12.037.241.550 | 216.670.348 | 4.574.151.789 | 962.979.324 a 1.203.724.155 | 722.234.493 a 962.979.324 | 16.837.613 a 22.450.150 |
| Norte | 2.391.618.750 | 43.049.138 | 908.815.125 | 191.329.500 a 239.161.875 | 143.497.125 a 191.329.500 | 3.253.852 a 4.338.470 |
| Nordeste | 1.211.335.350 | 21.804.036 | 460.307.433 | 96.906.828 a 121.133.535 | 72.680.121 a 96.906.828 | 1.870.573 a 2.463.431 |
| Sudeste | 2.746.715.505 | 49.440.879 | 1.043.751.892 | 219.737.240 a 274.671.551 | 164.802.930 a 219.737.240 | 3.910.622 a 5.214.163 |
| Sul | 1.177.219.050 | 21.189.943 | 447.343.239 | 94.177.524 a 117.721.905 | 70.633.143 a 94.177.524 | 1.875.456 a 2.500.608 |
| Centro-Oeste | 4.190.223.150 | 75.424.017 | 1.592.284.797 | 335.217.852 a 419.022.315 | 251.413.389 a 335.217.852 | 5.950.109 a 7.933.478 |

Fonte: ¹ CETESB (1993); UNEP, Depa e Cowi (2000) *apud* Pacheco e Yamanaka (2006); ² Dias (1999).
Elaboração dos autores.

Obs.: peso total dos bovinos abatidos = soma do PV dos bovinos de corte (bois/vacas, novilhos/novilhas e vitelos/vitelas).

Dos resíduos gerados nos abatedouros de bovinos, considerou-se como materiais com potencial de serem processados em graxarias os denominados como material não comestível para graxaria e sangue. Entre os resíduos gerados com potencial para produção de biogás, incluem-se o esterco (kg) e efluentes (água consumida/L), com potencial de produção de biogás.

3) Abatedouros de suínos

Na tabela 54 são apresentados os dados estimados de resíduos gerados nos abatedouros de suínos do Brasil e por região.

TABELA 54
Estimativa dos resíduos gerados nos abatedouros de suínos – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Total dos suínos abatidos (cabeças) | Quantidade gerada | | | | | Consumo de água no abate (mil.L) | |
|---------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | | Esterco (kg) | Pelos (kg) | Partículas de couro (kg) | Material não comestível para graxaria (kg) | Conteúdo estomacal e intestinal (kg) | | Sangue (L) |
| Brasil | 30.932.830 | 49.492.528 | 30.932.830 | 30.932.830 | 556.790.940 | 83.518.641 | 92.798.490 | 9.279.849 a 15.466.415 |
| Norte | 18.191 | 29.106 | 18.191 | 18.191 | 327.438 | 49.116 | 54.573 | 5.457 a 9.096 |
| Nordeste | 446.723 | 714.757 | 446.723 | 446.723 | 8.041.014 | 1.206.152 | 1.340.169 | 134.017 a 223.362 |
| Sudeste | 5.357.734 | 8.572.374 | 5.357.734 | 5.357.734 | 96.439.212 | 14.465.882 | 16.073.202 | 1.607.320 a 2.678.867 |
| Sul | 20.815.244 | 33.304.390 | 20.815.244 | 20.815.244 | 374.674.392 | 56.201.159 | 62.445.732 | 6.244.573 a 10.407.622 |
| Centro-Oeste | 4.294.938 | 6.871.901 | 4.294.938 | 4.294.938 | 77.308.884 | 11.596.333 | 12.884.814 | 1.288.481 a 2.147.469 |

Fonte: CETESB (1993); UNEP, Depa e Cowi (2000 *apud* Pacheco e Yamanaka, 2006).
Elaboração dos autores.

Nos abatedouros de suínos, como nos abatedouros de bovinos, considerou-se como materiais com potencial de processamento em graxarias os denominados de material não comestível para graxaria e sangue. Com potencial de produção de biogás citam-se os resíduos do tipo esterco (kg) e conteúdo estomacal e intestinal (kg), bem como os efluentes estimados pelo consumo de água no abate (L).

4) Graxarias

Considerou-se como quantidade de material com potencial de processamento em graxarias os resíduos gerados nos abatedouros de aves, como penas, vísceras cruas, cabeças, pés, peles, gorduras, ossos, restos de carcaças e sangue. Como resíduos dos abatedouros de suínos e bovinos, o material não comestível para graxaria e sangue. O total destes resíduos está apresentado na tabela 55.

TABELA 55
Total de resíduos gerados nos abatedouros com potencial de serem processados em graxarias

| | Abatedouro de aves | | Abatedouros de bovinos | | Abatedouros de suínos | | Total de resíduos (kg) |
|---------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------|
| | Material para graxaria (kg) | Sangue (kg) | Material para graxaria (kg) | Sangue (média kg) | Material para graxaria (kg) | Sangue (kg) | |
| Brasil | 2.285.561.499 | 427.718.243 | 4.574.151.789 | 889.792.895 | 556.790.940 | 97.995.205 | 8.832.010.572 |
| Norte | 30.236.595 | 5.658.454 | 908.815.125 | 176.788.458 | 327.438 | 57.629 | 1.121.883.699 |
| Nordeste | 66.500.432 | 12.444.841 | 460.307.433 | 89.541.909 | 8.041.014 | 1.415.218 | 638.250.847 |
| Sudeste | 516.158.602 | 96.593.529 | 1.043.751.892 | 203.037.210 | 96.439.212 | 16.973.301 | 1.972.953.746 |
| Sul | 1.374.496.355 | 257.222.204 | 447.343.239 | 87.020.032 | 374.674.392 | 65.942.693 | 2.606.698.916 |
| Centro-Oeste | 298.169.514 | 55.799.216 | 1.592.284.797 | 309.741.295 | 77.308.884 | 13.606.364 | 2.346.910.070 |

Elaboração dos autores.

Considerando o total de resíduos com potencial de processamento em graxarias e a quantidade de água consumida (caldeira, condensador do cozimento ou da digestão e limpeza) por tonelada de material processado, estimou-se a geração de efluentes nas indústrias destas categorias. Os consumos mínimo e máximo de água estão apresentados na tabela 56.

TABELA 56
Consumo mínimo e máximo de água em graxarias

| | Total de resíduos para graxarias (t) | Consumo mínimo de água ¹ (L) | Consumo máximo de água ¹ (L) |
|---------------|--------------------------------------|---|---|
| Brasil | 8.832.011 | 4.857.605.815 | 8.832.010.572 |
| Norte | 1.121.884 | 617.036.034 | 1.121.883.699 |
| Nordeste | 638.251 | 351.037.966 | 638.250.847 |
| Sudeste | 1.972.954 | 1.085.124.560 | 1.972.953.746 |
| Sul | 2.606.699 | 1.433.684.404 | 2.606.698.916 |
| Centro-oeste | 2.346.910 | 1.290.800.539 | 2.346.910.070 |

Fonte: UNEP, Depa e Cowi (2000) *apud* Pacheco, (2006).

Nota: ¹ Consumo mínimo de 550 L/kg de material processado e 1.000 L/kg de material processado.

5) Laticínios

Na tabela 57 são apresentados os dados estimados dos efluentes gerados nos abatedouros de bovinos do Brasil e por região.

TABELA 57
Estimativa da quantidade de efluentes gerados em laticínios – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Total de leite produzido (1 mil L) ¹ | Total de leite produzido (1 mil kg) ² | Efluentes gerados (1 mil L) ³ |
|---------------|---|--|--|
| Brasil | 19.497.875 | 20.121.807 | 20.121.807 a 120.730.842 |
| Norte | 1.343.845 | 1.386.848 | 1.386.848 a 8.321.088 |
| Nordeste | 1.056.930 | 1.090.752 | 1.090.752 a 6.544.511 |
| Sudeste | 7.839.498 | 8.090.362 | 8.090.362 a 48.542.172 |
| Sul | 6.093.804 | 6.288.806 | 6.288.806 a 37.732.834 |
| Centro-Oeste | 3.163.798 | 3.265.040 | 3.265.040 a 19.590.237 |

Fonte: ¹ IBGE (2009c); ² densidade média de 1,032 g/L (Brito *et al.*, s.d.); ³ Maganha (2008) – 1,0 e 6,0 L/kg de leite recebido. Elaboração dos autores.

Em laticínios onde ocorre o processamento de leite dos tipos UHT (*ultra high temperature* – ultra alta temperatura), leite esterilizado, leite homogeneizado e pasteurizado, são geradas quantidades significativas de efluentes líquidos decorrentes da lavagem de equipamentos, materiais e vazamentos.

6) Total de resíduos sólidos e efluentes gerados no Brasil

Os totais estimados de resíduos sólidos gerados nos abatedouros do Brasil e por região, no ano de 2009, foram somados e estão apresentados na tabela 58. Nesta tabela, constam os resíduos que não possuem potencial de utilização em graxarias e com potencial de geração de biogás.

TABELA 58

Total de resíduos sólidos potencialmente aproveitáveis para geração de energia gerados pelas indústrias primárias ligadas ao setor pecuário – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Abatedouros de aves | | Abatedouros de suínos | | Abatedouro de bovinos | | Total de resíduos sólidos (kg) |
|---------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|--|-----------------------|--|--------------------------------|
| | Resíduos de cama de aviário (kg) | Borra do flotador (kg) | Esterco (kg) | Conteúdo estomacal e intestinal (média – kg) | Esterco (kg) | Conteúdo estomacal e intestinal (média – kg) | |
| Brasil | 28.931.158 | 260.380.424 | 49.492.528 | 83.518.641 | 216.670.348 | 1.083.351.740 | 1.722.344.838 |
| Norte | 382.742 | 3.444.675 | 29.106 | 49.116 | 43.049.138 | 215.245.688 | 262.200.463 |
| Nordeste | 841.778 | 7.575.999 | 714.757 | 1.206.152 | 21.804.036 | 109.020.182 | 141.162.904 |
| Sudeste | 6.533.653 | 58.802.879 | 8.572.374 | 14.465.882 | 49.440.879 | 247.204.395 | 385.020.063 |
| Sul | 17.398.688 | 156.588.192 | 33.304.390 | 56.201.159 | 21.189.943 | 105.949.715 | 390.632.087 |
| Centro-Oeste | 3.774.298 | 33.968.679 | 6.871.901 | 11.596.333 | 75.424.017 | 377.120.084 | 508.755.311 |

Elaboração dos autores.

A região Centro-Oeste, foi a que apresentou maior geração de resíduos, seguida pelo Sul e Sudeste. No Centro-Oeste, a maior representatividade é decorrente da quantidade de bovinos criados e abatidos na região.

Na tabela 59 são apresentadas as estimativas de geração de efluentes pelos abatedouros de aves, suínos e bovinos, graxarias e laticínios no ano de 2009. Os valores foram estimados a partir de dados de efluentes gerados e consumo de água. A região Sul foi a maior geradora de efluentes. Os abatedouros de aves responderam pela maior quantidade de efluentes gerados no Brasil e nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

TABELA 59

Total de efluentes gerados pelas indústrias primárias ligadas ao setor pecuário – Brasil e grandes regiões (2009)
(Em 1 mil L)

| | Abatedouros de aves | Abatedouros de suínos | Abatedouros de bovinos | Graxarias | Laticínios | Total de efluentes gerados |
|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------|-------------------|----------------------------|
| Brasil | 69.434.780 | 12.373.132 | 19.643.882 | 6.844.808 | 13.244.345 | 121.540.947 |
| Norte | 918.580 | 7.276 | 3.796.161 | 869.460 | 2.332.810 | 7.924.288 |
| Nordeste | 2.020.266 | 178.689 | 2.155.502 | 494.644 | 1.325.073 | 6.174.175 |
| Sudeste | 15.680.768 | 2.143.094 | 4.562.393 | 1.529.039 | 3.045.716 | 26.961.010 |
| Sul | 41.756.851 | 8.326.098 | 2.188.032 | 2.020.192 | 2.104.112 | 56.395.284 |
| Centro-Oeste | 9.058.314 | 1.717.975 | 6.941.794 | 1.818.855 | 4.380.324 | 23.917.263 |

Elaboração dos autores.

Quando calculada a porcentagem do total de efluentes gerados por região, observa-se que a região Sul respondeu por 46% dos efluentes gerados em abatedouros, graxarias e laticínios do Brasil, seguida das regiões Sudeste, com 22%, e Centro-Oeste, com 20%.

Considerações acerca dos resultados

Seguindo o padrão observado no item referente à geração de dejetos pela criação animal, as maiores produções de resíduos sólidos e líquidos decorrentes das indústrias primárias ligadas à pecuária ocorreram nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Estes primeiros resultados servirão como base para os estudos posteriores de produção potencial de biogás e conversão em energia.

Identificou-se que uma parcela significativa dos resíduos gerados em abatedouros possui potencial de utilização como subproduto para a indústria de graxarias, porém uma quantidade significativa torna-se resíduo. É imprescindível que estes resíduos e os gerados em graxarias sejam tratados e dispostos de maneira adequada, devido ao seu potencial de contaminação decorrente da alta carga orgânica que possuem. Além disso, a possibilidade de recuperação de energia através de processos anaeróbios deve ser considerada, uma vez que serve como tratamento destes resíduos, reverte em recursos financeiros e pode ser utilizada como fonte de recursos energéticos renováveis.

Quanto aos efluentes gerados, o ideal seria que novas tecnologias fossem desenvolvidas e adotadas com vistas a reduzir a quantidade de água utilizada, o que minimizaria os impactos causados aos recursos hídricos (tanto na retirada quanto no descarte), custos com tratamento e outros. Os tipos de tratamentos de efluentes empregados em abatedouros dependem de diversos fatores, como as características dos efluentes e o porte do estabelecimento. Os efluentes de abatedouros possuem também uma grande quantidade de materiais como graxas, partículas de carne, pelos e couro, entre outros, o que demanda para o seu tratamento a utilização de processos físicos, químicos e biológicos. Em geral, os métodos se iniciam por processos físicos, que têm por objetivo remover os sólidos de maior dimensão e os líquidos imiscíveis na água (óleos e gorduras), os quais não podem ser segregados. A minimização de outros contaminantes é feita por processos físico-químicos ou biológicos, em função das características dos contaminantes (ISA, 2005).

3.2.3 Estimativa do potencial de geração de metano e energia elétrica pelos dejetos das criações animais e resíduos da agroindústria associada

Considerações gerais

No Brasil, o setor agropecuário caminha para o uso mais intensivo das fontes não renováveis de energia. Entre as formas alternativas de energia renováveis, pode-se citar a de conversão da biomassa em energia secundária, destacando-se a biodigestão anaeróbia de resíduos (agroindustriais, domésticos, rurais etc.), o que permite o seu aproveitamento sob a forma de biogás/metano (Oliveira, 2004).

A utilização dos biodigestores no meio rural tem merecido destaque devido aos aspectos de saneamento e geração de energia, além de estimularem a reciclagem orgânica e de nutrientes (Lucas Júnior, 1994 *apud* Oliveira, 2004).

Segundo Oliveira (2004), os principais resultados esperados com a implantação de biodigestores estão listados a seguir:

- proporcionar a substituição do GLP e da lenha por biogás no aquecimento do ar no interior dos aviários;
- substituir o consumo de energias não renováveis por energia renovável (biogás);
- gerar energia elétrica para reduzir os gastos do produtor com a compra de energia e, conseqüentemente, reduzir os custos de produção;
- promover a interação das atividades produtivas na propriedade através do manejo dos fluxos de energia e nutrientes;
- reduzir o potencial de impacto ambiental da atividade suinícola através da implementação de um sistema de tratamento de dejetos;

- reduzir a emissão de gases de efeito estufa (CH_4), com a possibilidade de entrar no mercado de créditos de carbono;
- reduzir o uso de fertilizante químico com o uso do biofertilizante;
- conscientizar o produtor para a importância do tratamento dos dejetos por sua viabilidade econômica e ambiental; e
- reduzir o nível de odor nas propriedades.

Conforme Lucas Júnior e Santos (2000), entre os modelos de biodigestores apropriados ao meio rural, pode-se citar o modelo batelada, que, apesar da simplicidade, pode ser útil em situações em que o resíduo é obtido periodicamente, como é o caso da cama obtida nos galpões de frangos de corte. Quando a disponibilidade dos resíduos for diária, o interesse volta-se para os biodigestores contínuos, como os modelos indiano e chinês. Tecnologias como sistemas de agitação, aquecimento, pré-fermentação etc. podem ser associadas a estes biodigestores, porém deve-se analisar com rigor os custos.

O digestor contínuo de biodigestão anaeróbia de efluentes, segundo Oliveira (2009), recebe carga de efluente continuamente, ou periodicamente, sem que ocorra a paralisação do processo de biodigestão e produção de biogás, havendo também produção contínua de efluente. Por sua vez, em digestor tipo batelada, uma nova carga de efluente só é realizada quando o processo de biodigestão chega ao fim (mínima produção de biogás) e, para que isto ocorra, é preciso que a câmara de digestão seja esgotada.

Oliveira (2004) salienta que, quando existe transformação da energia contida no biogás em energia elétrica, o rendimento gira em torno de 25%, contra 65% quando transformada em energia térmica. A seu favor, a energia elétrica tem o fato de ser um tipo de energia de fácil utilização e também, no caso, o biogás tem seu custo de produção bastante baixo.

A comparação entre as diferentes fontes energéticas e biogás foi realizada por Comastri Filho (1981 *apud* Oliveira, 2009), e está apresentada no quadro 2.

QUADRO 2
Comparação entre diferentes fontes energéticas e biogás

| Fonte energética | Equivalências | | | Biogás |
|--------------------|---------------|------|------|----------------|
| | L | kg | kWh | m ³ |
| Gasolina | 1,00 | - | - | 1,63 |
| Óleo diesel | 1,00 | - | - | 1,80 |
| Querosene | 1,00 | - | - | 1,73 |
| Gasolina de avião | 1,00 | - | - | 1,58 |
| Óleo combustível | 1,00 | - | - | 2,00 |
| Petróleo médio | 1,00 | - | - | 1,81 |
| Álcool combustível | 1,00 | - | - | 1,26 |
| GLP | - | 1,00 | - | 2,20 |
| Lenha | - | 1,00 | - | 0,65 |
| Carvão vegetal | - | 1,00 | - | 1,36 |
| Xisto | - | 1,00 | - | 0,29 |
| Energia elétrica | - | - | 1,00 | 0,70 |

Fonte: Comastri Filho (1981 *apud* Oliveira, 2009), com adaptações.

Escopo e limitações do estudo

Para o cálculo de metano gerado pela criação de aves, foram utilizadas como base as quantidades de dejetos gerados pelas aves de postura e de corte. Para os bovinos, utilizaram-se apenas as quantidades de dejetos advindos de bovinos de leite criados semiconfinados ou confinados, ficando os dejetos armazenados. Não foram considerados os dejetos produzidos pelos bovinos de corte, pois não há informações sobre o rebanho criado em sistema confinado. Sabe-se que a grande maioria das criações ocorre em sistema extensivo, ficando o dejetos espalhado pelos campos onde o gado é criado.

Outra questão a ser observada é que a criação de aves de corte ocorre sobre camas que podem ser compostas por diversos materiais, como maravalha, capim Napier, bagaço de cana ou outros materiais disponíveis na região, porém, nas estimativas realizadas neste estudo, foram considerados apenas os dejetos gerados pelas aves. A quantidade de cama de aviário não foi incluída, pois o tipo, a quantidade utilizada e o número de lotes criados em cada cama é muito variável nas diferentes regiões, empresas integradoras e sistemas utilizados pelos produtores. Segundo estudos realizados por Webb e Hawkes (1985 *apud* Lucas Júnior e Santos, 2000), de um modo geral, o material utilizado como cama de aviário diminui o potencial de produção de biogás, por isso, é possível que os dados reais sejam inferiores aos apresentados neste estudo.

Em relação às estimativas de geração de biogás a partir dos resíduos das indústrias primárias associadas à pecuária, não foi calculado o potencial de geração de biogás para biodigestão do conteúdo estomacal e intestinal dos bovinos e suínos, cama de aviário e borra do flotador. O resíduo do tipo borra de flotador e a biodigestão do conteúdo estomacal e intestinal dos bovinos e suínos não foram incluídos por não terem sido identificadas metodologias para estes cálculos. Segundo Bellaver (2010), a compostagem é a alternativa que poderia agregar maior valor a este tipo de resíduo, pois é um processo no qual o material a ser compostado está em um biorreator, com o propósito de produzir um composto orgânico fertilizante (adubo), de bom valor comercial, em curto espaço de tempo (e, por isso, o processo é acelerado). Em relação aos resíduos da cama de aviário, estes não foram incluídos, pois, em comparação aos outros dejetos de suínos e bovinos gerados em abatedouros, a quantidade gerada e o potencial de geração de biogás são pouco significativos.

Neste estudo, são mostrados apenas os potenciais totais de energia que poderia ser gerada com a utilização energética dos resíduos. Não foi avaliada, porém, a viabilidade real de uso destes potenciais, pois seria necessário tratar de várias outras questões de cunho econômico, financeiro, regulatório, logístico e técnico que não foram abordadas neste levantamento.

Metodologia para estimativa da geração de metano pela biodigestão dos dejetos das criações animais

A produção de metano a partir dos dejetos gerados pelas criações de suínos, aves e vacas leiteiras foi calculada tendo como referência o método utilizado pelo Centro Nacional de Referência da Biomassa – CENBIO (2008), para compor o *Atlas de bioenergia do Brasil*.

O método utilizado pelo CENBIO (2008) e adaptado de CETESB (1998) é apresentado na equação (7).

$$\text{Metano} \left(t \frac{\text{CH}_4}{\text{ano}} \right) = 30 \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ de cabeças} \times Et \times Pb \times \text{Conc. CH}_4 \times VE^{-1} \quad (7)$$

Onde:

Et – esterco total [kg.esterco/(dia.unidade geradora)]

Pb – produção de biogás [kg.biogás/kg.esterco]

Conc. CH₄ – concentração de metano no biogás [%]

VE – volume específico do metano [kg.CH₄/m³.CH₄], sendo este igual a 0,670 kg.CH₄/m³.CH₄

A equação foi adequada às informações existentes, conforme apresentado na equação (8).

$$\text{Metano} \left(m^3 \frac{\text{CH}_4}{\text{ano}} \right) = (Et \times Pb \times \text{Conc. CH}_4 \times PE^{-1}) \quad (8)$$

Onde:

Et – esterco total [kg.esterco/ano]

Pb – produção de biogás [kg.biogás/kg.esterco]

Conc. CH₄ – concentração de metano no biogás [%]

PE – peso específico do metano (kg.CH₄/m³.CH₄), sendo este igual a 0,716 kg.CH₄/m³.CH₄ (Garces Junior e Domingues, 2010)

Como valor de esterco total, foram utilizados os dados apresentados na tabela 58, para o ano de 2009.

Para os dados de *Pb* – produção de biogás, concentração de CH₄ e volume específico do CH₄, utilizaram-se dados de Motta (1986 *apud* CENBIO, 2008), apresentados na tabela 60. Segundo Perdomo e Lima (1998), os dejetos suínos possuem maior potencial energético em termos de produção de biogás, porque mais que 70% dos sólidos totais são constituídos por sólidos voláteis, substrato das bactérias metanogênicas responsáveis pela produção de biogás.

TABELA 60

Valores de conversão energética para diferentes tipos de efluentes

| Origem do material | (kg biogás/kg esterco) | Concentração de metano (%) |
|--------------------|------------------------|----------------------------|
| Suínos | 0,062 | 66 |
| Bovinos | 0,037 | 60 |
| Aves | 0,055 | 60 |

Fonte: Motta (1986 *apud* CENBIO, 2008), com adaptações.

Resultados

Na tabela 61 são apresentadas as quantidades potenciais de geração de dejetos (kg/ano) e de metano (m³/ano) resultantes da biodigestão dos dejetos de aves de postura e corte.

TABELA 61
Geração de metano (CH₄) a partir da geração de dejetos de aves de postura e corte (2009)

| | Geração de dejetos (kg/ano) | Geração de metano (m ³ /ano) |
|---------------|-----------------------------|---|
| Brasil | 28.025.854.457 | 1.291.694.409 |
| Norte | 822.211.561 | 37.895.226 |
| Nordeste | 2.960.721.278 | 136.457.824 |
| Sudeste | 9.249.674.911 | 426.311.832 |
| Sul | 10.898.420.355 | 502.301.497 |
| Centro-Oeste | 4.094.826.353 | 188.728.030 |

Elaboração dos autores.

Na tabela 62, são apresentadas as quantidades potenciais de geração de dejetos (kg/ano) e de metano (m³/ano) resultantes da biodigestão dos dejetos de suínos.

TABELA 62
Geração de metano a partir da geração de dejetos de suínos – Brasil e grandes regiões (2009)

| | Geração de dejetos (kg/ano) | Geração de metano (m ³ /ano) |
|---------------|-----------------------------|---|
| Brasil | 20.379.732.253 | 1.164.718.776 |
| Norte | 871.972.155 | 49.833.939 |
| Nordeste | 3.369.353.863 | 192.561.397 |
| Sudeste | 3.584.870.240 | 204.878.338 |
| Sul | 9.876.639.085 | 564.458.200 |
| Centro-Oeste | 2.676.896.910 | 152.986.902 |

Elaboração dos autores.

Na tabela 63, são apresentadas as quantidades potenciais de geração de dejetos (kg/ano) e de metano (m³/ano) resultantes da biodigestão dos dejetos de bovinos de leite.

TABELA 63
Geração de metano a partir da geração de dejetos de bovinos de leite – Brasil e grandes regiões (2009)

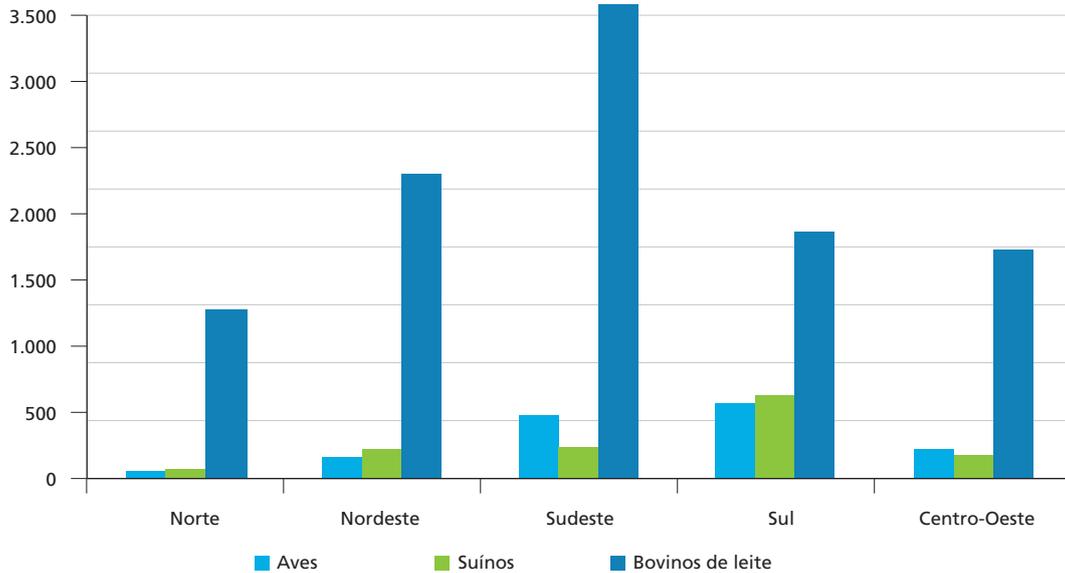
| | Geração de dejetos (kg/ano) | Geração de metano (m ³ /ano) |
|---------------|-----------------------------|---|
| Brasil | 316.909.674.770 | 9.825.970.363 |
| Norte | 37.597.956.354 | 1.165.746.691 |
| Nordeste | 67.721.022.995 | 2.099.730.043 |
| Sudeste | 106.168.599.923 | 3.291.819.718 |
| Sul | 54.801.360.428 | 1.699.148.326 |
| Centro-Oeste | 50.620.735.071 | 1.569.525.585 |

Elaboração dos autores.

No gráfico 1 é apresentada uma síntese da estimativa da geração de metano (em milhões de m³/ano), a partir da geração da biodigestão dos dejetos de aves (corte e postura), suínos e bovinos de corte.

GRÁFICO 1

Potencial para geração de metano (CH_4) a partir dos dejetos das principais criações de animais confinados – grandes regiões (2009)
(Em milhões de m^3/ano)



Embora os dejetos suínos gerem uma maior quantidade de biogás por dejetos fermentado, a criação com maior potencial de geração de metano foi a de bovinos de leite, com um total de $10.500.589.224 \text{ m}^3$ de CH_4 no ano em todo o Brasil, com destaque para as regiões Sudeste e Nordeste. Estes dados foram obtidos considerando que toda a criação ocorra em sistema confinado.

Metodologia para estimativa do potencial disponível pela biodigestão dos dejetos das criações animais

A estimativa da geração de energia elétrica a partir dos dejetos das criações foi calculada com base no cálculo da potência útil descrito por Garces Junior e Domingues (2010).

Para a determinação da potência disponível foi utilizada a equação (9):

$$P_y = \frac{Q_{\text{CH}_4,y} \times \text{PCI}_{\text{CH}_4} \times E \times \eta}{31.536.000} \quad (9)$$

Onde:

P_y – potência útil no ano (MW);

$Q_{\text{CH}_4,y}$ – quantidade de metano no ano y ($\text{m}^3\text{CH}_4.\text{ano}^{-1}$);

PCI_{CH_4} – poder calorífico inferior do metano ($33,8 \text{ MJ}.\text{m}^{-3}$ de CH_4);

E – eficiência de coleta do gás (35%);

η – eficiência elétrica (28%); e

$31.536.000$ – ator de conversão ($\text{segundos}.\text{ano}^{-1}$).

A quantidade de metano gerada no ano por cada uma das criações está apresentada nas tabelas 61, 62 e 63.

Neste caso, manteve-se o valor de eficiência do motor conforme a referência, porém, ao ser utilizado um motor com maior eficiência, a capacidade de produção de energia seria maior.

Considerou-se o ano com 8.322 horas, o que equivale a 347 dias, sendo este o período que o motor estaria em funcionamento no ano, sendo os demais dias destinados à manutenção do equipamento.

3.2.4 Resultados da estimativa da geração de energia elétrica pela biodigestão dos dejetos gerados nas criações animais

Na tabela 64 são apresentadas as estimativas de geração de potência útil por região e para o Brasil. Na tabela 65 são apresentadas as estimativas de geração de energia elétrica por região e no Brasil, bem como a população atendida em um mês, considerando um consumo médio de 100 kWh/mês. Os dados da tabela 65 mostram que há uma quantidade bastante expressiva da população que poderia ser atendida por energia elétrica/mês durante um ano com a utilização energética dos dejetos das criações animais. A prioridade, porém, seria a utilização deste potencial energético na própria granja, para aquecimento dos animais, funcionamento de motores e fornecimento de energia para a casa.

TABELA 64

Estimativa da geração de potência útil a partir do biogás gerado pelos dejetos das aves (corte e postura), suínos e bovinos de leite (2009)
(Em kW/ano)

| | Suínos (MW/ano) | Aves (MW/ano) | Bovinos (MW/ano) |
|---------------|--------------------|------------------|---------------------|
| Brasil | 122 | 136 | 1.032 |
| Norte | 5 | 4 | 122 |
| Nordeste | 20 | 14 | 221 |
| Sudeste | 22 | 45 | 346 |
| Sul | 59 | 53 | 178 |
| Centro-Oeste | 16 | 20 | 165 |

Elaboração dos autores.

TABELA 65

Estimativa do total de energia que poderia ser gerada pelos dejetos das criações animais mais representativas, e estimativa da população que poderia ser atendida por mês – Brasil e grandes regiões
(Em kWh/ano)

| | Energia disponível | População atendida em um mês ¹ |
|---------------|--------------------|---|
| Brasil | 941.763.131 | 9.417.631 |
| Norte | 96.111.422 | 961.114 |
| Nordeste | 186.226.599 | 1.862.266 |
| Sudeste | 300.800.416 | 3.008.004 |
| Sul | 212.078.559 | 2.120.786 |
| Centro-Oeste | 146.546.136 | 1.465.461 |

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Consumo médio de 100 kWh/mês por pessoa.

Metodologia da estimativa da geração de metano e energia elétrica pela biodigestão dos resíduos (sólidos e efluentes) das agroindústrias primárias associadas à criação animal

Foram utilizadas como base de dados para a estimativa da geração de metano pela digestão anaeróbia as quantidades de efluentes apresentados na tabela 59. Estes dados foram obtidos com base no rebanho abatido e produção de leite no ano de 2009.

Para a estimativa da geração de metano pela biodigestão anaeróbia, utilizou-se a fórmula do IPCC (2006) apresentada na equação (10).

$$Emiss\tilde{a}o\ de\ CH_4 = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i] \quad (10)$$

Onde:

$Emiss\tilde{a}o\ de\ CH_4$ – emissão de CH_4 no ano, kg CH_4 /ano

TOW_i – total de material orgânico degradável em efluentes industriais no ano, kg DQO/ano

i – setor industrial

S_i – componente orgânico removido como lodo no ano, kg DQO/ano

EF_i – fator de emissão do setor industrial, kg CH_4 / kg DQO

R_i – montante de CH_4 recuperado no ano, kg CH_4 /ano

Não foi realizado somatório, pois, como descrito anteriormente, foi utilizado um valor único para as regiões e para o Brasil, calculado com base na quantidade de animais abatidos no ano de 2009.

Para S_i foi utilizado o valor médio de 0,35 kg DQO/ano para cada m^3 de efluentes gerados. Este valor foi definido a partir dos valores apresentados pelo Canada (2009), segundo o qual a sedimentação primária pode remover de 25% a 40% da DBO.

O valor de TOW foi calculado com base no proposto pelo IPCC (2006) e adaptado aos dados disponíveis, conforme apresentado na equação (11).

$$TOW = W \times DQO \quad (11)$$

Onde:

TOW – total de material orgânico degradável em efluentes industriais no ano, kg DQO/ano

W – efluentes gerados, m^3 /ano

DQO_i – demanda química de oxigênio, kg DQO/ m^3

Foi utilizado como valor de DQO para as indústrias do setor do leite 2,7 kg/ m^3 e para as demais indústrias de carne e aves 4,1 kg/ m^3 , conforme valores do IPCC (2006). Para as graxarias foi assumido o mesmo valor que o das indústrias de carne e aves.

O fator de emissão de CH_4 para os efluentes das indústrias primárias associadas à atividade pecuária foi calculado conforme apresentado na equação (12).

$$EF = B_0 \times MCF \quad (12)$$

Onde:

EF – fator de emissão de CH_4 para cada tratamento – $\text{kg CH}_4/\text{kg DQO}$

B_0 – capacidade máxima de produção de CH_4 – $\text{kg CH}_4/\text{kg DQO}$

MCF – fator de correção de metano

O valor de capacidade máxima de CH_4 foi considerado o valor padrão de 0,25 $\text{kg CH}_4/\text{kg DQO}$. Como fator de correção de metano, foi considerado o valor 0,8 (que é o fator de correção de reator anaeróbio).

A estimativa da geração de metano pelos dejetos gerados nos abatedouros de suínos e bovinos foi calculada com base na equação (8).

Para a estimativa do potencial de energia e energia elétrica, foi utilizada a mesma metodologia apresentada para a geração de energia elétrica a partir do metano gerado pela biodigestão dos dejetos da pecuária, apresentada na equação (9).

Resultado da estimativa da geração de metano e energia elétrica pela biodigestão dos efluentes das agroindústrias primárias associadas à criação animal

A tabela 66 apresenta a estimativa do potencial de geração anual de metano com base na quantidade de efluentes gerada no ano de 2009 para as agroindústrias primárias associadas à criação animal.

TABELA 66

Estimativa do potencial de geração de metano a partir dos efluentes gerados nas agroindústrias primárias associadas à criação animal (2009)
(Em m^3/ano)

| | Abatedouros de aves | Abatedouros de suínos | Abatedouros de bovinos | Graxarias | Laticínios |
|---------------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------|-------------------|
| Brasil | 72.731.962 | 12.960.683 | 20.576.692 | 7.169.841 | 24.601.926 |
| Norte | 962.200 | 7.622 | 3.976.426 | 910.747 | 4.333.292 |
| Nordeste | 2.116.200 | 187.174 | 2.257.858 | 518.133 | 2.461.379 |
| Sudeste | 16.425.385 | 2.244.861 | 4.779.043 | 1.601.647 | 5.657.545 |
| Sul | 43.739.718 | 8.721.471 | 2.291.933 | 2.116.123 | 3.908.476 |
| Centro-Oeste | 9.488.457 | 1.799.555 | 7.271.432 | 1.905.225 | 8.136.635 |

Elaboração dos autores.

Na tabela 67 é apresentada a estimativa do potencial de geração de metano (m^3/ano) a partir dos dejetos gerados nos abatedouros de bovinos e suínos no ano de 2009.

TABELA 67

Estimativa do potencial de geração de metano a partir dos dejetos gerados nos abatedouros de suínos e bovinos (2009)
(Em m³/ano)

| | Suínos | Bovinos |
|---------------|------------------|------------------|
| Brasil | 2.828.539 | 6.717.991 |
| Norte | 1.663 | 1.334.764 |
| Nordeste | 40.849 | 676.047 |
| Sudeste | 489.918 | 1.532.943 |
| Sul | 1.903.374 | 657.007 |
| Centro-Oeste | 392.735 | 2.338.566 |

Elaboração dos autores.

Na tabela 68 são apresentadas as estimativas da energia elétrica (em kWh/mês) que poderia ser produzida a partir da biodigestão anaeróbia dos efluentes das agroindústrias primárias associadas à criação animal, resíduos da cama de aviário e dejetos suínos e bovinos gerados nos abatedouros de suínos e bovinos, bem como a população que poderia de ser atendida mensalmente com esta energia, com base na produção do ano de 2009.

TABELA 68

Estimativa do potencial de energia elétrica que poderia ser gerado pelos efluentes das agroindústrias primárias associadas a criação animal e dejetos de abatedouros de bovinos e suínos (2009)
(Em kWh/mês)

| | Efluentes | Dejetos de abatedouros de suínos e bovinos | Total | População atendida em um mês ¹ |
|---------------|-------------------|--|-------------------|---|
| Brasil | 10.055.208 | 695.390 | 10.750.598 | 107.506 |
| Norte | 742.282 | 97.348 | 839.630 | 8.396 |
| Nordeste | 549.284 | 52.220 | 601.504 | 6.015 |
| Sudeste | 2.236.871 | 147.350 | 2.384.221 | 23.842 |
| Sul | 4.427.179 | 186.504 | 4.613.682 | 46.137 |
| Centro-Oeste | 2.083.380 | 198.954 | 2.282.334 | 22.823 |

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Consumo médio de 100 kWh/mês.

Verifica-se, ilustrativamente, que o total de energia que poderia ser gerada por mês pelos abatedouros de aves, suínos e bovinos, graxarias e laticínios no Brasil seria suficiente para atender a uma população de 107.506 habitantes com um consumo médio de 100 kWh/pessoa/mês durante um ano (tabela 68). A região com maior população atendida seria a região Sul, com 46.137 pessoas contempladas. A viabilidade de utilização deste potencial, porém, depende de muitos fatores, entre eles, a concentração da produção e a logística de transporte dos resíduos. Nos casos onde for viável a implantação de empreendimentos, as agroindústrias podem utilizar esta energia produzida nas atividades da própria empresa ou, caso houvesse uma geração excedente, esta poderia ser comercializada, dependendo das condições do mercado de energia.

Considerações acerca dos resultados

A estimativa de geração de energia elétrica a partir da biodigestão dos dejetos e efluentes das criações e agroindústrias associadas produzidos no ano de 2009 seria suficiente, em termos ilustrativos, para suprir a demanda de um população de 9.555.137 pessoas com um consumo médio de 100 kWh/mês. O porte e a localização das granjas e agroindústrias, porém, inviabilizaria em termos econômicos a implantação de um sistema individual de biodigestão, sendo necessária a implantação de sistemas coletivos, o que demandaria estudos regionalizados de espacialização das atividades.

Segundo Zago (2003 *apud* Oliveira, 2004), a geração de energia elétrica, tendo como combustível o biogás, passa a ser viável economicamente quando a propriedade possuir capacidade de produção de 200 m³/dia de biogás, o que daria uma produção aproximada de 300 kVAh/dia.

A energia elétrica gerada serviria para atender prioritariamente às necessidades dos empreendimentos, e o restante poderia ser comercializado, dependendo das condições do mercado de energia, através da transferência para a rede elétrica. O biogás produzido, além de transformado em energia elétrica, poderia ser aproveitado através da combustão, gerando assim calor.

Reitera-se que a tecnologia de biodigestão evitaria a emissão anual de trilhões de m³ de metano, gerando, além disso, um composto estável, com menor potencial poluidor, eliminando patógenos e reduzindo odores.

3.3 Silvicultura e agroindústrias associadas

3.3.1 Considerações gerais

A silvicultura tem sido um dos setores da economia brasileira com maior crescimento nos últimos anos. A atividade da silvicultura se ocupa do estabelecimento, desenvolvimento e da reprodução de florestas, visando múltiplas aplicações, tais como a produção de madeira, o carvoejamento, a produção de resinas, a proteção ambiental, entre outros. (IBGE, 2009c). O uso da madeira advinda da silvicultura ganha destaque em um momento no qual a preocupação com o meio ambiente e as diversas formas de vida tornaram-se parte do cotidiano e das atividades das empresas. Atualmente, os produtos silvícolas são utilizados como fonte energética, lenha para carvoarias e indústrias siderúrgicas, como matéria-prima para indústrias moveleiras, de papel e celulose, construção civil, entre outras finalidades.

Assim como na maioria das atividades produtivas, o setor florestal apresenta perdas no processo produtivo, desde o corte da árvore até seu processamento em indústrias primárias e secundárias. Grandes quantidades de sobras de menor valor comercial são produzidas, chamadas tradicionalmente de resíduos. Conforme a Lei nº 12.305 (Brasil, 2010a), os resíduos florestais se enquadram na classificação de resíduos agrossilvopastoris, ou seja, resíduos que são gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nestas atividades.

3.3.2 Escopo e limitações do estudo

A quantificação dos resíduos florestais foi realizada com dados secundários, obtidos a partir dos dados de produção e extração vegetal da silvicultura, referentes ao ano de 2009, disponibilizados pelo IBGE. Estes dados, porém, são relativos apenas à produção de madeira em toras utilizada para cada atividade: carvão vegetal, lenha, papel e celulose e outras finalidades. Dessa forma, foi possível quantificar a geração de resíduos de forma discretizada por regiões e estados, referentes aos resíduos provenientes apenas da colheita da madeira e em processos que utilizam as toras, como no caso do processamento mecânico da madeira. O setor florestal é amplo e complexo, apresentando diversos segmentos de atividades e aplicações industriais. Cada indústria associada apresenta uma diversidade de resíduos, cuja geração depende do tamanho da indústria, do processo produtivo e das políticas da empresa. Sendo assim, a quantificação do montante

de resíduos associados ao processo produtivo torna-se difícil, pois não existem dados discretizados de produção em cada setor nas regiões e estados brasileiros. Destaca-se também a diversidade de valores encontrados nas fontes consultadas, podendo haver disparidade na quantificação devido a diferenças de metodologia utilizada.

A quantificação de resíduos gerados em indústrias primárias como celulose e papel se restringiu apenas ao âmbito nacional, em que são apresentados dados de produção. Outro fator limitante do estudo é a ausência de dados relativos às porcentagens de aproveitamento de processo na produção de outros produtos associados à silvicultura, como madeira tratada, cavacos e partículas, cascas, folhas e resinas, sendo apresentados índices de geração referentes a alguns segmentos da cadeia da madeira obtidos em estudos específicos de regiões do Brasil.

Optou-se por tratar este setor como florestal, o qual abrange, além da madeira de silvicultura, a madeira produzida no extrativismo vegetal, uma vez que são atualmente extraídas grandes quantidades de madeira de florestas naturais, sendo esta amplamente utilizada nos diversos segmentos da cadeia. A utilização da madeira de extração vegetal também gera uma grande quantidade de resíduos, sendo maior que a da silvicultura quando considerada a etapa de extração no campo.

3.3.3 Setor florestal

O agronegócio florestal tem ganhado destaque nos últimos anos no Brasil e no mundo, principalmente em função de se tratar de recursos renováveis dentro da ótica de sustentabilidade ambiental, seguindo a trajetória de substituição ou produção de recursos até então extraídos da natureza (Coronel *et al.*, 2007).

Apesar de sua relevância na economia nacional, é elencado como um setor contraditório, uma vez que desenvolveu a silvicultura de florestas plantadas com produção integrada e estrutura produtiva sofisticada, mas ainda convive com altos índices de desmatamento ilegal de florestas nativas (SFB, s.d.).

Conforme o Ministério do Meio Ambiente, o Brasil é um dos maiores produtores e o maior consumidor mundial de produtos de origem florestal. Setores estratégicos da economia brasileira, como a siderurgia, a indústria de papéis e embalagens, e a construção civil, são altamente dependentes do setor florestal (Brasil, [s.d]c.). O Brasil possui aproximadamente 516 milhões de ha, cerca de 60,7% do território, de florestas naturais e plantadas.

O país possui cerca de 6,8 milhões de ha de florestas plantadas, 93% das quais com espécies de eucalipto e pinus. Em 2009, a área total de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil atingiu 6.310.450 ha, apresentando um crescimento de 2,5% (ABRAF, 2010). Além destas florestas que formam o conjunto mais representativo, outros grupos merecem destaque devido principalmente à sua importância econômica. A tabela 70 apresenta as principais espécies plantadas no país, sua participação relativa em área e os principais usos industriais.

TABELA 69
Áreas total de florestas plantadas por grupo de espécies no Brasil (2009)

| Grupo de espécie | Área (ha) | Participação da espécie no total (%) | Principais usos |
|---------------------------------|------------------|--------------------------------------|--|
| Eucalipto | 4.515.730 | 66,58 | Celulose, papel, madeira serrada, painéis, compensados, carvão vegetal, construção civil, movelaria, construção naval, embalagens, lâminas, vigas e PMVA (produto de maior valor agregado) |
| Pinus | 1.794.720 | 26,46 | Celulose, papel, madeira serrada, painéis, compensados, carvão vegetal, construção civil, movelaria, construção naval |
| Acácia | 174.150 | 2,57 | Madeira, energia, carvão para celulose, painéis de madeira, tanino, curtumes, adesivos, setor petrolífero, borrachas |
| Seringueira ¹ | 128.460 | 1,89 | Madeira, energia, celulose, seiva, borracha |
| Paricá | 85.320 | 1,26 | Lâmina e compensado, forros, palitos, papel, móveis, acabamentos e molduras |
| Teca | 65.240 | 0,96 | Construção civil (portas, janelas, lambris, painéis, forros), assoalhos e decks, móveis, fósforo, lápis e carretéis |
| Pinheiro-do-Paraná ou araucária | 12.110 | 0,18 | Serrados, lâminas, forros, molduras, ripas, caixotaria, estrutura de móveis, fósforo, lápis e carretéis |
| Populus | 4.030 | 0,06 | Fósforos, partes de móveis, portas, marcenaria interior, brinquedos, utensílios de cozinha |
| Outras ² | 2.740 | 0,04 | – |
| Total | 6.782.500 | 100,00 | – |

Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2010).

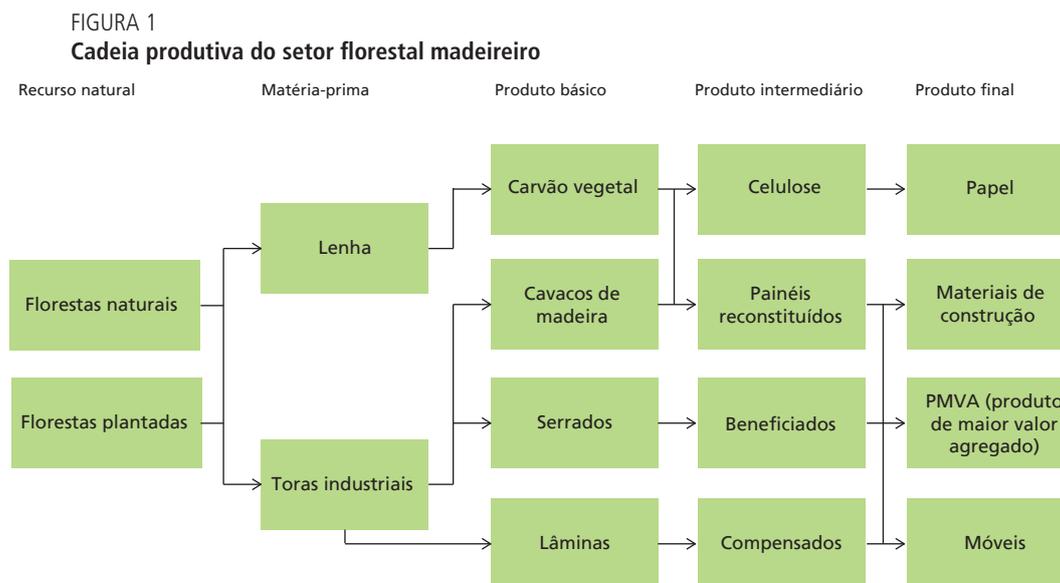
Notas: ¹ As áreas de florestas plantadas com seringueira no Brasil foram revisadas em função de dados publicados pela Associação Paulista de Produtores e Beneficiadores de Borracha.

² Áreas com florestas, com espécies tais como ipê-roxo, fava-arara, jatobá, mogno e acapu, entre outras.

O setor florestal contribui com uma parcela importante para a economia brasileira, gerando produtos para consumo interno e exportação, empregos, renda para a população, impostos, atuando também na conservação e preservação dos recursos naturais. O Programa Nacional de Florestas (PNF) do MMA cita que atualmente existem oito cadeias produtivas que exploram o patrimônio florestal: chapas e compensados; óleos e resinas; fármacos; cosméticos; alimentos; carvão, lenha e energia; papel e celulose; e madeira e móveis.

A partir da produção da matéria-prima florestal tem início a cadeia produtiva florestal, através do processamento primário e da geração de produtos florestais. Estes podem ser madeireiros, na forma de madeira em tora e de principal interesse para a indústria baseada em florestas comerciais (plantadas ou nativas), ou não madeireiros. Os principais produtos não madeireiros são o látex, as resinas, ceras, gomas, fibras tanantes, corantes, óleos aromáticos ou essenciais, e cascas, obtidos geralmente através de extração não destrutiva. Assim, na maioria dos casos onde esta atividade de extração é conduzida em larga escala, as árvores são mantidas em produção, ou seja, não são cortadas.

Os produtos madeireiros são os mais importantes da cadeia florestal, do ponto de vista econômico. A partir do processamento primário, secundário ou terciário da madeira, as indústrias de base florestal produzem uma gama de produtos que se destinam a diferentes fins. O fluxograma da figura 1 apresenta a cadeia produtiva específica do setor madeireiro.



Fonte: STCP (2011).

Conforme o Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2011) existem dois modelos de organização industrial no setor florestal no Brasil. De um lado, em especial nos setores de celulose, papel, lâmina de madeira, chapa de fibra e madeira aglomerada, há predomínio de poucas empresas de grande porte, integradas verticalmente da floresta até produtos acabados, os quais atuam da produção até o comércio. De outro lado, principalmente na produção de madeira serrada, compensados e móveis, há um grande número de empresas de pequeno e médio porte, de menor capacidade empresarial. No caso da indústria de móveis, além da variedade no uso de materiais, o setor apresenta uma forte pulverização das preferências dos consumidores, levando a uma redução da escala da demanda e a uma enorme fragmentação do mercado.

3.3.4 Produção

A tabela 71 apresenta um resumo dos dados de produção referentes a produtos madeireiros de florestas plantadas e nativas para o Brasil, regiões e estados no ano de 2009. Em 2009, foram produzidos 41.410.850 m³ de lenha da silvicultura e 41.439.567 m³ de lenha oriunda do extrativismo vegetal.

Na lenha da silvicultura, os principais produtores foram o Rio Grande do Sul (32,5%), o Paraná (19,3%), São Paulo (15,5%), Santa Catarina (14,8%) e Minas Gerais (9,0%). Na lenha do extrativismo vegetal, os principais produtores foram a Bahia (24,4%), o Ceará (10,9%), o Pará (8,6%), o Maranhão (6,8%) e Amazonas (6,1%). Destacam-se os municípios de Santa Cruz do Sul (RS), na lenha da silvicultura (767.826 m³), e o município baiano Xique-Xique na lenha oriunda do extrativismo vegetal (675.627 m³).

A produção nacional da madeira em tora totalizou 122.159.595 m³, sendo 87,5% provenientes de florestas cultivadas e 12,5% de vegetações nativas. Na silvicultura, a produção de madeira para papel e celulose somou 65.345.680 m³, e a de madeira para outras finalidades (construção civil, movelaria, construção naval etc.), 41.565.728 m³.

Os principais produtores de madeira de florestas plantadas para fabricação de papel e celulose em 2009 foram a Bahia, com 14.674.553 m³, o que representa 22,4% dos 65.345.680 m³ produzidos no país; São Paulo, com 13.665.914 m³ (20,9%); e Paraná, com 11.083.552 m³ (16,9%). O maior produtor municipal foi Telêmaco Borba (PR), com 3.508.079 m³.

Em 2009, os principais produtores de carvão vegetal de florestas cultivadas foram Minas Gerais (80,4% da produção nacional), Maranhão (6,7%), Bahia (5,4%), São Paulo (2,0%) e Mato Grosso do Sul (1,6%). Entre os municípios, o maior produtor foi Lassance (MG) (9,0%). Os principais produtores do carvão obtido da extração vegetal foram Maranhão (28,9% da produção nacional), Mato Grosso do Sul (17,7%), Minas Gerais (17,2%), Bahia (8,7%) e Goiás (8,1%). O município com maior produção foi Barra da Corda (MA), com 4,2%.

TABELA 70
Produção de madeira provinda da silvicultura e extrativismo (2009)

| Grandes regiões e (UFs) | Silvicultura | | | | Extrativismo | |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|
| | Carvão vegetal | Lenha | Madeira em toras | | Lenha | Madeira em tora |
| | | | Papel e celulose | Outras finalidades | | |
| Quantidade (t) | Quantidade (m ³) | |
| Brasil | 3.378.481 | 41.410.850 | 65.345.680 | 41.565.728 | 41.439.567 | 15.248.187 |
| Norte | 12 | 4.900 | 1.527.874 | 1.790.936 | 8.148.870 | 8.962.724 |
| Rondônia | - | - | - | - | 57.926 | 1.358.072 |
| Acre | - | - | - | - | 685.240 | 120.566 |
| Amazonas | 12 | 4.900 | - | 2.350 | 2.539.348 | 1.055.928 |
| Roraima | - | - | - | - | 101.240 | 100.930 |
| Pará | - | - | 1.432.000 | 553.056 | 3.551.983 | 5.975.969 |
| Amapá | - | - | 95.874 | 1.235.530 | 174.222 | 266.925 |
| Tocantins | - | - | - | - | 1.038.911 | 84.334 |
| Nordeste | 411.731 | 1.140.118 | 14.785.464 | 1.898.444 | 23.174.486 | 1.494.634 |
| Maranhão | 227.101 | 10.500 | 67.635 | - | 2.799.945 | 184.723 |
| Piauí | - | - | - | - | 1.679.688 | 120.789 |
| Ceará | 1.861 | - | - | 18.737 | 4.525.309 | 47.575 |
| Rio Grande do Norte | 54 | 41.248 | - | - | 1.256.346 | 6.573 |
| Paraíba | - | - | - | - | 605.070 | - |
| Pernambuco | - | - | - | - | 1.751.452 | 34.832 |
| Alagoas | - | 6.820 | 39.486 | 496 | 81.218 | 2.375 |
| Sergipe | - | - | 3.790 | - | 356.627 | 13.540 |
| Bahia | 182.716 | 1.081.550 | 14.674.553 | 1.879.211 | 10.118.831 | 1.084.227 |
| Sudeste | 2.822.524 | 10.833.137 | 25.154.443 | 10.920.815 | 2.417.822 | 57.015 |
| Minas Gerais | 2.717.170 | 3.733.120 | 5.371.797 | 2.410.118 | 2.369.264 | 39.342 |
| Espírito Santo | 34.666 | 230.048 | 6.062.232 | 168.482 | 4.706 | 2.303 |
| Rio de Janeiro | 3.675 | 464.891 | 54.500 | 95.572 | 3.447 | 1.120 |
| São Paulo | 67.012 | 6.405.078 | 13.665.914 | 8.246.643 | 40.405 | 14.250 |
| Sul | 72.413 | 27.551.959 | 20.984.050 | 25.797.836 | 4.911.371 | 783.626 |
| Paraná | 26.689 | 7.982.041 | 11.083.552 | 12.944.492 | 1.869.646 | 628.636 |
| Santa Catarina | 6.613 | 6.128.487 | 7.427.261 | 8.096.827 | 1.666.805 | 120.184 |
| Rio Grande do Sul | 39.111 | 13.441.431 | 2.473.237 | 4.756.517 | 1.374.920 | 34.806 |
| Centro-Oeste | 71.813 | 1.880.736 | 2.893.849 | 1.157.697 | 2.787.018 | 3.950.188 |
| Mato Grosso do Sul | 55.332 | 336.762 | 2.893.849 | 882.246 | 153.389 | 10.284 |
| Mato Grosso | - | 456.114 | - | 36.155 | 1.953.294 | 3.920.627 |
| Goiás | 16.481 | 1.081.860 | - | 239.296 | 680.335 | 19.277 |
| Distrito Federal | - | 6.000 | - | - | - | - |

Fonte: IBGE (2009c).

3.3.5 Resíduos

Especificação do tipo de resíduos, rejeitos ou subprodutos gerados

Resíduo florestal é todo e qualquer material proveniente da colheita ou processamento da madeira e de outros produtos florestais que permanece sem utilização definida durante o processo, por limitações tecnológicas ou de mercados, sendo descartado durante a produção (Nolasco, 2000). Os resíduos florestais podem ser classificados quanto à origem em: resíduo de colheita florestal, resíduo do processamento mecânico da madeira, resíduo da produção de celulose e papel, entre outros.

Os resíduos de madeira são classificados em sua composição como resíduos lignocelulósicos, ou seja, contêm majoritariamente lignina e celulose, os quais têm origem tanto em atividades industriais quanto atividades rurais (Teixeira, 2005). Como exemplos, (Quirino, 2004) cita os rejeitos da madeira ou indústria da madeira, considerando móveis usados, restos de madeira de demolições, resíduos do beneficiamento de produtos agrícolas, postes, estacas, dormentes, paletes e embalagens em fim de vida. O autor ainda enfatiza que até mesmo no resíduo sólido urbano é encontrada uma porcentagem significativa de resíduos lignocelulósicos proveniente de utensílios e embalagens em madeira.

Os resíduos lignocelulósicos geralmente apresentam baixa densidade, elevado teor de umidade e são dispersos geograficamente, encarecendo a coleta e o transporte (Quirino, 2004). Estes podem ainda estar associados a outros produtos químicos, como tintas, resinas, vernizes e outros produtos de conservação. Tais compostos podem ser liberados durante a valorização energética. Quando não associados com estes compostos, não são tóxicos, podendo ser classificados segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004) como classe 2B, ou seja, material não inerte e biodegradável, cujo aproveitamento pode ser realizado para diferentes processos industriais.

Os resíduos de madeira são considerados heterogêneos devido às variedades em que se apresentam (como sobras de madeira, com ou sem casca, os galhos grossos e finos, as folhas, os tocos, as raízes, a serrapilheira e a casca), às diversas granulometrias da serragem e às diversas condições de armazenamento.

Segundo Fontes (1994) e IBDF/DPq – LPF (1998), os resíduos de madeira podem ser classificados em três tipos distintos, listados a seguir.

- 1) *Serragem*: resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras, podendo chegar a 12% do volume total de matéria-prima.
- 2) *Cepilho*: conhecido também por maravalha, resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros etc.), que podem chegar a 20% do volume total de matéria-prima, nas indústrias de beneficiamento.
- 3) *Lenha ou cavacos*: resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora, restos de lâminas, que pode chegar a 50% do volume total de matéria-prima nas serrarias e laminadoras (Hüebelin, 2001).

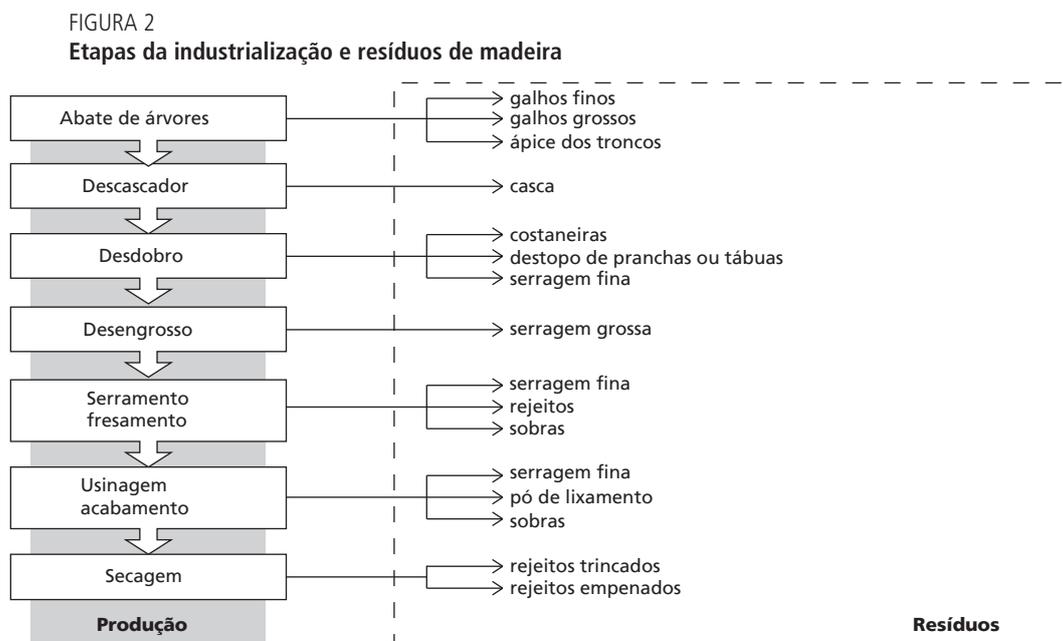
O quadro situacional apresentado revela que mais que plantar ou extrair, um melhor aproveitamento dos resíduos nas diferentes fases do processo produtivo pode melhorar o rendimento do setor, cujas perdas podem ultrapassar 80% do produto bruto. A modernização tecnológica do setor pode contribuir significativamente neste sentido, bem como um uso mais nobre dos resíduos resultantes dos processos.

Segundo Roque e Valença (1998), a indústria de base florestal pode ser dividida, de forma geral, de acordo com o produto final obtido, que pode ser: lenha, postes, madeira serrada, lâminas de madeira, painéis colados, compensados, aglomerados, chapas duras de fibras, chapas de fibras de média densidade, celulose e papel. Destes produtos, a madeira serrada e os painéis de madeira são alguns insumos da cadeia produtiva madeira e móveis, os quais, por processos de usinagem, geram resíduos sólidos em várias etapas da cadeia.

Gonçalves (2000) classifica os processos de usinagem da madeira em abate, descascamento, desdobro, laminação, produção de partículas e beneficiamento. Cada um destes processos é formado por diversas operações, as quais definem o trabalho de modificação da forma da madeira num determinado processo, como as operações de corte, seja com uma serra de fita, na serraria, ou com uma seccionadora, na indústria de móveis seriados.

Nas indústrias de transformação, como celulose e papel, que utilizam processo *kraft* para extração de celulose, os resíduos recebem as denominações técnicas de *dregs*, *grits*, além da lama de cal e lodo orgânico da estação de tratamento de efluentes líquidos (Bergamin *et al.*, 1994). No branqueamento da celulose, os resíduos produzidos em maior quantidade são: cinza de caldeira, resíduos de celulose e lama de cal (Moro, 1994). Entre estes resíduos, a Embrapa Florestas tem dado destaque para os trabalhos com cinza de caldeira e resíduo celulósico (Bellote, *et al.* 1998).

A figura 2 mostra as etapas produtivas junto com os resíduos gerados por cada etapa respectiva na cadeia produtiva da madeira.



Fonte: Gonçalves, Ruffino e Rosalvo (1989).

Conforme Teixeira (2005), estes resíduos são comumente dispostos em silos expostos ao tempo ou em terrenos nas cercanias do processo produtivo. Este tipo de armazenamento pode levar à degradação do resíduo pelo encharcamento por água de chuva ou degradação por agentes biológicos. A quantidade de resíduos gerados é difícil de ser estabelecida, pois depende de algumas variáveis, como as listadas a seguir.

- 1) *Espécie da madeira beneficiada*, uma vez que a dureza e a cor significam variação dos resíduos quanto a sua apresentação física.
- 2) *Tipo de produto fabricado*. Como exemplo, o resíduo do processamento de toras é totalmente diferente do resíduo do processamento de chapas de MDF ou de aglomerado.
- 3) *Tipo de indústria*, que irá determinar o tipo de madeira e, conseqüentemente, o tipo de resíduo: indústrias de extração e desdobro, que trabalham apenas com toras, geram um tipo de resíduo diferente das indústrias moveleiras, que trabalham principalmente com madeira reconstituída, tal como o MDF e o compensado.
- 4) *Tipo de máquina usada*. Cada máquina produz um resíduo peculiar e diferente dos resíduos de outras máquinas. Também influenciam a variação do tipo de lâminas na mesma máquina e a calibração das máquinas para cada tipo de corte.
- 5) *Granulometria das partículas*, visto que um tipo de resíduo têm diversas granulometrias.
- 6) *Ocasão e das circunstâncias*. Há momentos em que são acionadas apenas algumas das etapas de processamento, gerando pouca variação de resíduos e volume variável destes resíduos.

Metodologia de estimativa de resíduos

Para estimativa do quantitativo de resíduos gerados na cadeia produtiva florestal, foram levados em conta apenas os resíduos oriundos de produtos madeireiros. A seguir está exemplificado a metodologia empregada nos principais processos do setor florestal. Duas etapas da cadeia produtiva da madeira foram consideradas: a colheita e o processamento referente à cadeia de processamento mecânico, cuja estimativa foi realizada a partir dos dados de produção de toras disponibilizada pelo IBGE relativos à produção da extração vegetal e silvicultura de 2009. Nestas duas etapas, correspondentes à produção da madeira, e parte da primeira transformação industrial (na qual ainda constam a indústria de celulose e papel, e siderurgia), foi possível quantificar e espacializar os dados em nível estadual.

Em relação aos outros resíduos originados no processo de obtenção de produtos como papel e celulose, a quantificação foi realizada em nível nacional, pelo fato de somente existirem dados disponíveis para o Brasil, não sendo discriminados em regiões. Por seu turno, para a segunda indústria de transformação, não foi possível quantificar pela inexistência de dados de produção, além de a madeira produzida em determinada região poder ser transportada para beneficiamento em outras regiões do país, cuja localização é um dado que não se encontra disponível.

1) Resíduo de colheita florestal

Os resíduos lenhosos representam madeira que foi produzida pela floresta, mas não foi retirada para ser consumida (Foelkel, 2007). Esta disponibilidade adicional de madeira a partir dos resíduos lenhosos pode ser substancial, sendo que a quantidade pode variar de 10% a 20% da madeira comercial colhida a partir de florestas plantadas e de 60% a 70% de florestas naturais. Para este estudo, utilizou-se o valor médio de 15% para cálculo de resíduos gerados no campo de florestas plantadas e 65% para florestas naturais (STCP, 2011). Para cálculo

de resíduo florestal no processo de colheita foram utilizados os dados do IBGE relativos à produção da extração vegetal e silvicultura de 2009. Considerou-se a soma dos dados de produção em tora de madeira, relativa às atividades de silvicultura e extrativismo vegetal.

2) Resíduo do processamento mecânico da madeira

Há uma grande variedade na geração de resíduos e na transformação inicial da tora em matéria-prima, que vai desde o tipo de madeira trabalhado até o tipo de artigo a ser produzido. Ao se desdobrar uma tora de madeira, a geração de resíduos é inevitável, sendo que o volume e tipos de pedaços e fragmentos resultantes são dependentes de vários fatores. Como exemplos destes fatores, destacam-se o diâmetro das toras e o uso final das peças serradas. O trabalho apresentado por STCP (2011) aponta que, no processamento mecânico da madeira, ocorre uma perda média de 45% para florestas plantadas e 17,5% para florestas naturais, sendo estes valores utilizados para cálculo de geração de resíduos nesta etapa. Foram utilizados os dados do IBGE relativos à produção da extração vegetal e silvicultura de 2009. Considerou-se a soma dos dados de produção em tora de madeira, relativos às atividades de silvicultura e extrativismo vegetal, com exceção de dados relativos à lenha e indústria de papel e celulose, as quais não passam pelo mesmo processo.

3) Resíduo da produção de papel e celulose

As fábricas de papel e celulose geram uma quantidade de resíduos de aproximadamente 48 t de resíduos para cada 100 t de celulose produzida, ou seja, produzem 48% de resíduo em seu processo produtivo (Belotte *et al.*, 1998). Os dados de produção de papel e celulose foram retirados do *Relatório anual* referente à produção de papel e celulose realizado pela Associação Brasileira de Celulose e Papel – Bracelpa (2010). Salienta-se que os dados disponibilizados referem-se apenas ao Brasil, não sendo possível discretizá-los em regiões e estados.

Resultados da estimativa do montante de resíduos gerados pelo setor

1) Resíduo de colheita florestal

Para o resíduo florestal lenhoso gerado na colheita de silvicultura e florestas plantadas, foram obtidas as quantidades em cada estado, região e país, cujos resultados são apresentados na tabela 71. Em relação às regiões, observa-se que o Norte apresentou a maior representatividade na geração de resíduo oriundo da primeira etapa da cadeia produtiva da madeira, ou seja, a colheita. Isto se deve principalmente ao estado do Pará, que apresentou uma produção de madeira em tora oriunda do extrativismo vegetal superior aos outros estados, representando cerca de 40% da madeira produzida no extrativismo. Como são gerados mais resíduos no extrativismo que na silvicultura na etapa inicial, a região Norte desponta com 29,3%, seguida das regiões Sul (25,6%) e Sudeste (18,1%). Além do Pará, destacam-se, na geração de resíduo do processo de colheita, os estados do Paraná, Bahia, Mato Grosso e São Paulo.

Conforme Foelkel (2007), este material é constituído, em sua maior parte, pela casca e copa das árvores, apesar de serem também deixadas algumas árvores finas inteiras e toras, desprezadas pelos colhedores de árvores. Este material que pode permanecer sobre o solo, tem funções notáveis em sua proteção e conservação, em sua biologia, riqueza mineral, umidade e na contenção dos processos erosivos.

TABELA 71
Geração de resíduo florestal lenhoso (2009)

| | Resíduo da colheita (m ³ /ano) | | |
|---------------------|---|----------------------|----------------------|
| | Silvicultura | Extrativismo | Total |
| Brasil | 18.442.217,88 | 16.353.680,56 | 34.795.898,44 |
| Norte | 572.494,73 | 9.612.521,49 | 10.185.016,22 |
| Rondônia | 0,00 | 1.456.532,22 | 1.456.532,22 |
| Acre | 0,00 | 129.307,04 | 129.307,04 |
| Amazonas | 405,38 | 1.132.482,78 | 1.132.888,16 |
| Roraima | 0,00 | 108.247,43 | 108.247,43 |
| Pará | 342.422,16 | 6.409.226,75 | 6.751.648,91 |
| Amapá | 229.667,19 | 286.277,06 | 515.944,25 |
| Tocantins | 0,00 | 90.448,22 | 90.448,22 |
| Nordeste | 2.877.974,13 | 1.602.994,97 | 4.480.969,10 |
| Maranhão | 11.667,04 | 198.115,42 | 209.782,46 |
| Piauí | 0,00 | 129.546,20 | 129.546,20 |
| Ceará | 3.232,13 | 51.024,19 | 54.256,32 |
| Rio Grande do Norte | 0,00 | 7.049,54 | 7.049,54 |
| Paraíba | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pernambuco | 0,00 | 37.357,32 | 37.357,32 |
| Alagoas | 6.811,34 | 2.547,19 | 9.358,52 |
| Sergipe | 653,78 | 14.521,65 | 15.175,43 |
| Bahia | 2.855.524,29 | 1.162.833,46 | 4.018.357,75 |
| Sudeste | 6.222.982,01 | 61.148,59 | 6.284.130,59 |
| Minas Gerais | 1.342.380,34 | 42.194,30 | 1.384.574,63 |
| Espírito Santo | 1.074.798,17 | 2.469,97 | 1.077.268,13 |
| Rio de Janeiro | 25.887,42 | 1.201,20 | 27.088,62 |
| São Paulo | 3.779.916,08 | 15.283,13 | 3.795.199,21 |
| Sul | 8.069.875,34 | 840.438,89 | 8.910.314,22 |
| Paraná | 4.144.837,59 | 674.212,11 | 4.819.049,70 |
| Santa Catarina | 2.677.905,18 | 128.897,34 | 2.806.802,52 |
| Rio Grande do Sul | 1.247.132,57 | 37.329,44 | 1.284.462,00 |
| Centro-Oeste | 698.891,69 | 4.236.576,63 | 4.935.468,32 |
| Mato Grosso do Sul | 651.376,39 | 11.029,59 | 662.405,98 |
| Mato Grosso | 6.236,74 | 4.204.872,46 | 4.211.109,20 |
| Goiás | 41.278,56 | 20.674,58 | 61.953,14 |
| Distrito Federal | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Elaboração dos autores.

2) Resíduo do processamento mecânico da madeira

A geração de resíduo de madeira processada mecanicamente para o Brasil no ano de 2009 foi equivalente a 50.778.566,33 m³, valor correspondente a 45% de perda no processamento das toras, como apresenta a tabela 72. A região com maior geração de resíduo foi a Sul, apresentando valor de 21.188.983,25 m³ (41,7%), seguida do Sudeste (32%) e do Norte (15,3%).

TABELA 73
Geração de resíduo do processamento mecânico da madeira
 (Em m³/ano)

| | Resíduo – processamento mecânico | | |
|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|
| | Silvicultura | Extrativismo | Total |
| Brasil | 48.110.133,60 | 2.668.432,73 | 50.778.566,33 |
| Norte | 1.493.464,50 | 1.568.476,70 | 3.061.941,20 |
| Rondônia | 0,00 | 237.662,60 | 237.662,60 |
| Acre | 0,00 | 21.099,05 | 21.099,05 |
| Amazonas | 1.057,50 | 184.787,40 | 185.844,90 |
| Roraima | 0,00 | 17.662,75 | 17.662,75 |
| Pará | 893.275,20 | 1.045.794,58 | 1.939.069,78 |
| Amapá | 599.131,80 | 46.711,88 | 645.843,68 |
| Tocantins | 0,00 | 14.758,45 | 14.758,45 |
| Nordeste | 7.507.758,60 | 261.560,95 | 7.769.319,55 |
| Maranhão | 30.435,75 | 32.326,53 | 62.762,28 |
| Piauí | 0,00 | 21.138,08 | 21.138,08 |
| Ceará | 8.431,65 | 8.325,63 | 16.757,28 |
| Rio Grande do Norte | 0,00 | 1.150,28 | 1.150,28 |
| Paraíba | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pernambuco | 0,00 | 6.095,60 | 6.095,60 |
| Alagoas | 17.768,70 | 415,63 | 18.184,33 |
| Sergipe | 1.705,50 | 2.369,50 | 4.075,00 |
| Bahia | 7.449.193,80 | 189.739,73 | 7.638.933,53 |
| Sudeste | 16.233.866,10 | 9.977,63 | 16.243.843,73 |
| Minas Gerais | 3.501.861,75 | 6.884,85 | 3.508.746,60 |
| Espírito Santo | 2.803.821,30 | 403,03 | 2.804.224,33 |
| Rio de Janeiro | 67.532,40 | 196,00 | 67.728,40 |
| São Paulo | 9.860.650,65 | 2.493,75 | 9.863.144,40 |
| Sul | 21.051.848,70 | 137.134,55 | 21.188.983,25 |
| Paraná | 10.812.619,80 | 110.011,30 | 10.922.631,10 |
| Santa Catarina | 6.985.839,60 | 21.032,20 | 7.006.871,80 |
| Rio Grande do Sul | 3.253.389,30 | 6.091,05 | 3.259.480,35 |
| Centro-Oeste | 1.823.195,70 | 691.282,90 | 2.514.478,60 |
| Mato Grosso do Sul | 1.699.242,75 | 1.799,70 | 1.701.042,45 |
| Mato Grosso | 16.269,75 | 686.109,73 | 702.379,48 |
| Goiás | 107.683,20 | 3.373,48 | 111.056,68 |
| Distrito Federal | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Elaboração dos autores.

Em relação aos estados, o Paraná possui a maior geração desses resíduos, com valor de 10.922.631,10 m³, seguido por São Paulo, Bahia, Santa Catarina e Minas Gerais. Estes estados com maior representatividade na geração de resíduos abrigam também os polos produtores de madeira de silvicultura, os quais se concentram principalmente nas regiões Sul e Sudeste, além de polos de indústrias de transformação primária e secundária, como movelaria, papel e celulose, entre outras.

Boa parte dos resíduos sólidos da cadeia produtiva de madeira e móveis é gerada no processamento da madeira serrada. Embora a fração percentual que representam os resíduos varie em função de fatores como processo, máquinas utilizadas e dimensões das toras, tipo de

matéria-prima utilizada, produto final obtido e condições tecnológicas empregadas, ocorre uma significativa perda no desdobro e nos cortes de reserra, que, para madeiras de reflorestamento situam-se entre 20% e 40% do volume das toras processadas (Finotti *et al.*, 2006).

A abundância de matéria-prima em determinadas regiões é outro fator que contribui para o baixo aproveitamento. Por essas razões, os rendimentos obtidos por serrarias no desdobro da madeira variam de uma região para outra e de uma indústria para outra, sendo o diagnóstico fundamental para estabelecer as possibilidades de aproveitamento.

A tabela 73 apresenta a geração de resíduo da cadeia florestal somando as etapas de colheita e processamento mecânico da madeira. A geração de resíduo da cadeia florestal para o Brasil no ano de 2009 foi equivalente a 85.574.464,76 m³. A região com maior geração de resíduo foi a Sul, apresentando valor de 30.099.297,47 m³ (35,17%), seguida da Sudeste (26,33%) e Norte (15,48%). Em relação aos estados, o Paraná apresentou a maior geração, com valor de 15.741.680,80 m³, seguido de São Paulo, Bahia, Santa Catarina, Minas Gerais e Pará.

TABELA 73
Geração de resíduo da cadeia florestal – colheita e processamento mecânico (2009)
(Em m³/ano)

| | Resíduo – cadeia florestal (colheita e processamento mecânico) | | |
|---------------------|--|----------------------|----------------------|
| | Silvicultura | Extrativismo | Total |
| Brasil | 66.552.351,48 | 19.022.113,28 | 85.574.464,76 |
| Norte | 2.065.959,23 | 11.180.998,19 | 13.246.957,42 |
| Rondônia | 0,00 | 1.694.194,82 | 1.694.194,82 |
| Acre | 0,00 | 150.406,09 | 150.406,09 |
| Amazonas | 1.462,88 | 1.317.270,18 | 1.318.733,06 |
| Roraima | 0,00 | 125.910,18 | 125.910,18 |
| Pará | 1.235.697,36 | 7.455.021,33 | 8.690.718,69 |
| Amapá | 828.798,99 | 332.988,94 | 1.161.787,93 |
| Tocantins | 0,00 | 105.206,67 | 105.206,67 |
| Nordeste | 10.385.732,73 | 1.864.555,92 | 12.250.288,65 |
| Maranhão | 42.102,79 | 230.441,94 | 272.544,73 |
| Piauí | 0,00 | 150.684,28 | 150.684,28 |
| Ceará | 11.663,78 | 59.349,81 | 71.013,60 |
| Rio Grande do Norte | 0,00 | 8.199,82 | 8.199,82 |
| Paraíba | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pernambuco | 0,00 | 43.452,92 | 43.452,92 |
| Alagoas | 24.580,04 | 2.962,81 | 27.542,85 |
| Sergipe | 2.359,28 | 16.891,15 | 19.250,43 |
| Bahia | 10.304.718,09 | 1.352.573,18 | 11.657.291,27 |
| Sudeste | 22.456.848,11 | 71.126,21 | 22.527.974,32 |
| Minas Gerais | 4.844.242,09 | 49.079,15 | 4.893.321,23 |
| Espírito Santo | 3.878.619,47 | 2.872,99 | 3.881.492,46 |
| Rio de Janeiro | 93.419,82 | 1.397,20 | 94.817,02 |
| São Paulo | 13.640.566,73 | 17.776,88 | 13.658.343,61 |
| Sul | 29.121.724,04 | 977.573,44 | 30.099.297,47 |
| Paraná | 14.957.457,39 | 784.223,41 | 15.741.680,80 |
| Santa Catarina | 9.663.744,78 | 149.929,54 | 9.813.674,32 |
| Rio Grande do Sul | 4.500.521,87 | 43.420,49 | 4.543.942,35 |
| Centro-Oeste | 2.522.087,39 | 4.927.859,53 | 7.449.946,92 |
| Mato Grosso do Sul | 2.350.619,14 | 12.829,29 | 2.363.448,43 |
| Mato Grosso | 22.506,49 | 4.890.982,18 | 4.913.488,67 |
| Goiás | 148.961,76 | 24.048,06 | 173.009,82 |
| Distrito Federal | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Elaboração dos autores.

3) Resíduo da produção de papel e celulose

Em 2010, foram produzidas, no Brasil, 22.743.000 t de papel e celulose. Desta forma, a geração de resíduo das indústrias de papel e celulose no ano de 2010 foi estimada em 10.916.640 t em todo o Brasil. A produção de celulose gera vários tipos de resíduos orgânicos e inorgânicos. O preparo de madeira dá origem às cascas, enquanto o tratamento de águas residuárias gera lodo com fibras, lodo biológico e uma fração inorgânica removida na decantação primária. Parte da fração orgânica, como cascas e demais resíduos da madeira (finos), pode ser utilizada para recuperação de energia por meio da queima em caldeiras.

Considerações sobre os resultados

Os dados apresentados como montantes de resíduos em cada item necessitam de refinamento, com informações mais precisas da produção por estado e região, possibilitando uma melhor quantificação e espacialização dos resíduos gerados. Atualmente, as informações existentes possibilitam apenas uma estimativa grosseira da quantidade de resíduos do setor florestal. A complexidade do setor e a ausência de informações, decorrente dos poucos estudos realizados, dificultam o diagnóstico mais preciso da real quantidade de resíduos oriundo da silvicultura.

Ressalta-se também que, nesses valores, não está contabilizada a madeira que é extraída em determinados locais e processada em outra região. Devido a estas incertezas, a quantificação associada ao processamento é imprecisa, assim como a geração relacionada a outros segmentos das indústrias de processamento primário e secundário. O levantamento da quantidade de produtos processados por estas indústrias em uma base de dados regionais possibilitará uma estimativa mais precisa da geração de resíduos no setor.

3.3.6 Índices de geração de resíduos na cadeia produtiva da madeira

1) Lâminas de madeira e compensados

Este segmento é composto pelas empresas de laminação de madeira e fábrica de compensados. Segundo a FAO (1975), para a fabricação de 1 m³ de lâminas são necessários 1,9 m³ de toras de madeira, perfazendo um aproveitamento de 52,6%. Para cada m³ de compensado, considerando toda a cadeia produtiva deste segmento industrial, necessita-se de 2,3 m³ de toras de madeira, o que resulta num aproveitamento de 43,5%.

2) Serrarias

As serrarias geram um grande volume de resíduos de madeira, considerando desde a tora no pátio da empresa até pranchas serradas, compensados ou laminados, estimado entre 60% e 68% do volume de madeira bruta processada (Arima, Veríssimo e Souza Junior, 1999). A geração de resíduos depende de fatores de processo, além de a abundância de matéria-prima em determinadas regiões contribuir para o baixo aproveitamento. Neste sentido, a utilização de serras adequadas pode auxiliar na minimização da geração de resíduo proveniente do processo.

3) Indústria moveleira

Segundo Moraes (2002), a indústria de móveis pode ser segmentada em função da matéria-prima que utiliza ou do uso final dos móveis que produz. Como existem diferentes tipos de matérias-primas à base de madeira utilizadas na fabricação de diferentes tipos de móveis, as

empresas moveleiras apresentam diferentes características e produzem diversos resíduos de madeira e seus derivados. Em geral, estes resíduos se apresentam na forma de serragem e de retalhos e seu aproveitamento tem sido principalmente para geração de energia.

No levantamento de Hillig, Schneider e Pavoni (2004), para o estado do Rio Grande do Sul, em quatro municípios da Serra, verificou-se que o tipo de matéria-prima é muito variável, podendo ser de madeira, MDF ou aglomerado. No caso da madeira, o aproveitamento fica em torno de 66,5%, sendo que, para os outros tipos de material (MDF, aglomerado e compensado), o aproveitamento fica em torno de 94%. Em termos globais, a produção com MDF e aglomerado representa 78,4% de toda a matéria-prima utilizada.

A quantidade de resíduos também foi definido por Hillig *et al.* (2004) por meio de pesquisa de campo e variáveis de produção, sendo que o levantamento corresponde a aproximadamente 30% do setor. Os valores são apresentados na tabela 74.

TABELA 74

Quantidades de resíduos de madeira e derivados gerados nas empresas visitadas
(Em volume e granel)

| Município | Empresas visitadas | Serragem | Maravalhas | Retalhos |
|-----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| Bento Gonçalves | 27 | 2.558,2 | 131,5 | 2.444,6 |
| Caxias do Sul | 35 | 485,9 | 159,2 | 191,2 |
| Flores da Cunha | 14 | 2.619,5 | 3.935,6 | 599,5 |
| Lagoa Vermelha | 18 | 495 | 851 | 213,5 |
| Total | 94 | 6.158,6 | 5.077,3 | 3.448,8 |

Fonte: Hillig, Schneider e Pavoni (2004).

A tabela 75 apresenta as estimativas de resíduos gerados por cada classe de matéria-prima, nos quatro municípios visitados.

TABELA 75

Estimativa dos volumes mensais dos resíduos gerados por classe de matéria-prima e por município nas empresas visitadas
(Em m³)

| Município | Madeira | | | MDF | | | Aglomerado | | Compensado | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|-----------|
| | S | M | R | S | M | R | S | R | S | R |
| Bento Gonçalves | 771 | 93 | 736 | 297 | 38 | 283 | 1.472 | 1.407 | 19 | 18 |
| Caxias do Sul | 392 | 156 | 154 | 9 | 3 | 4 | 6 | 2 | 78 | 31 |
| Flores da Cunha | 2.022 | 3.385 | 463 | 311 | 551 | 71 | 277 | 63 | 10 | 2 |
| Lagoa Vermelha | 58 | 170 | 25 | 232 | 681 | 100 | 203 | 87 | 2 | 1 |
| Média | 810,75 | 951 | 344,5 | 212,25 | 318,25 | 114,5 | 489,5 | 389,75 | 27,25 | 13 |
| Total | 3.243 | 3.804 | 1.378 | 849 | 1.273 | 458 | 1.958 | 1.559 | 109 | 52 |

Fonte: Hillig *et al.* (2004).

Obs.: S = volume a granel de serragem gerada; M = volume a granel de maravalha gerada; R = volume a granel de retalhos gerados.

Identifica-se, nos dados apresentados, que a geração da quantidade de resíduo e o tipo é variável em cada município estudado. Esta disparidade dificulta a elaboração de um índice de geração para o Brasil, ou mesmo regiões, em razão principalmente da heterogeneidade de tamanhos das indústrias, ferramentas e equipamentos utilizados no processo, localização e produto final gerado.

3.3.7 Atuais formas de destinação e possíveis utilizações dos resíduos de madeira

Apesar da lenta mudança na concepção quanto à destinação do resíduo gerado em processos produtivos que se utilizam de madeira, ainda há, em muitos lugares, o descarte inadequado destes resíduos, deixando-se de aproveitá-los economicamente. Muitos destes resíduos são queimados a céu aberto, nos pátios de empresas, ou depositados em locais inadequados, sendo comum encontrá-los em margens de rios e lagos. Ainda se encontra a disposição inadequada nos chamados lixões, ou aterros clandestinos, juntamente com outros materiais oriundos, por exemplo, da construção civil.

O tratamento e destinação inadequados dados aos resíduos, conforme exemplos citados anteriormente, transformam-se em um grave problema ambiental. Especialmente em algumas indústrias de processamento primário de madeira, como algumas serrarias, laminadoras e indústrias de processamento secundário, como a moveleira e a construção civil, a falta de conhecimento ou mesmo condições financeiras desfavoráveis impelem estas empresas à queima de seus resíduos ao ar livre, ou ao descarte em áreas inadequadas. O processo de queima, quando não ocorre combustão completa, torna-se uma fonte de poluição, causando problemas de saúde pública e ambiental. Conforme o Artigo 47 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010a), tais formas de destinação citadas anteriormente – como lançamento em recursos hídricos, *in natura* a céu aberto, e queima a céu aberto ou mesmo em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados – estão expressamente proibidas.

Esta visão de descarte é consequência da inexistência de planejamento e gerenciamento dos resíduos. O resíduo da madeira possui tradicionalmente dois fins principais: a utilização do material para produção de energia elétrica e térmica, e o uso em granjas como forragem de piso, por exemplo, para cama de aviários. O quadro 3 apresenta outras utilidades, como a indústria de madeira reconstituída e adubação. Entretanto, Lunardi (2004 *apud* Teixeira, 2005) explica que as indústrias de madeira reconstituída têm preferência por insumos virgens, os quais podem vir de florestas nativas ou plantadas.

QUADRO 3
Uso tradicional dos resíduos de madeira

| Uso | Resíduo | Descrição |
|-----------------------------|--|--|
| Adubo | Serragem em geral e madeira sólida picada | Usada <i>in natura</i> ou após etapas de compostagem para proteção do solo e como adubo. Inclui a cama de aviário usada. |
| Cama de aviário | Serragem em geral | Serragem macia para contato com animais. Após o uso, a serragem suja com dejetos pode ser usada como adubo. |
| Carvão e combustíveis | Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos | Processos industriais para produção de carvão, álcool, metanol e gás combustível. |
| Energia elétrica | Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos, bem como briquetes de serragem prensada | Usado como lenha em usinas termoelétricas para obtenção de energia elétrica. Há o problema da emissão de poluentes na atmosfera. |
| Energia térmica | Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos, bem como briquetes de serragem prensada | Queima para obtenção de calor. Uso em fornos de padarias, pizzarias, olarias e em caldeiras industriais. Há o problema da emissão de poluentes na atmosfera. |
| Extração de óleos e resinas | Serragem em geral | Extração industrial de óleos e resinas para uso como combustível, resinas plásticas, colas e essências. |
| Madeira reconstituída | Serragem em geral | Fabricação de chapas de madeira reconstituída. |
| Lenha | Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos | A utilização da lenha tem larga tradição no Brasil, porém, nos últimos anos, vem sendo diminuída devido à popularização do gás de cozinha. |

Fonte: Teixeira (2005).

Além dos usos apresentados no quadro 3, a *Revista da madeira* (2003) apresenta outras finalidades comumente empregadas para os resíduos de madeira, conforme descrição a seguir.

Produção de painéis reconstituídos. Fabricados por meio da utilização de partículas de madeira, aglutinadas com uma resina e posterior prensagem. Podem ser empregados resíduos de fábricas de móveis, serrarias e exploração florestal. É uma tecnologia desenvolvida logo após a Segunda Guerra Mundial, motivada pela falta de madeira serrada. Dos principais painéis existentes no mercado, citam-se:

- aglomerado: painel de partículas de madeira de eucalipto ou pinus impregnados com resinas sintéticas submetidas ao calor e pressão. Disponível nos revestimentos em BP (baixa pressão) e em lâmina celulósica FF (*finish foil*), os painéis de aglomerado oferecem versatilidade de cores, diversos padrões decorativos e excelente desempenho físico-mecânico;
- MDF: chapa plana de média densidade produzida a partir de fibras de madeira. As fibras aglutinadas com resina sintética são submetidas à alta temperatura e pressão; e
- OSB: painel de madeira com uma liga de resina sintética, feita de três camadas prensadas com tiras de madeira ou *strands*, alinhados em escamas (Revista Referência, 2009).

Os painéis reconstituídos, como MDF e aglomerados de madeira, surgem como alternativa ao uso de madeiras maciças, que entraram em regime de restrição na metade do século passado por esgotamento ou limitações ambientais. A produção do MDF permite a utilização de resíduos resultantes do processamento mecânico de toras em serrarias e laminadoras, que não são passíveis de aproveitamento na fabricação do OSB, painel de fibra de madeira de alta resistência (Revista Referência, 2009).

Produção de briquetes. Processo de compactação de resíduos, diminuindo o volume e aumentando densidade e poder calorífico. Utiliza resíduos resultantes do processo de beneficiamento da madeira e requer uma umidade ideal em torno de 15%. A facilidade de armazenamento, aliada ao significativo aumento das propriedades de queima, torna-o uma importante forma de utilização dos resíduos sólidos madeiráveis.

Conforme Teixeira (2003), o uso de resíduos na forma de briquetes (serragem prensada em pequenos blocos cilíndricos) como fonte de energia tem sido descrito como uma boa saída de produção de energia que preserva o meio ambiente, ao se utilizarem os resíduos na substituição a madeira comum, principalmente a madeira nativa. Ao mesmo tempo, há uma grande demanda pelo uso da serragem como cama de aviário e dos resíduos de madeira sólida como lenha. Estes usos, no entanto, não oferecem alternativa ao material, a não ser seu desaparecimento durante os processos de queima ou de biodegradação, quebrando e impedindo o ciclo fechado de circulação de recursos proposto pela ecologia industrial, visto que os demais usos demandam um volume muito pequeno de resíduos (Teixeira, 2005).

Artesanato. A produção de peças para artesanato pode atingir dimensões industriais, tendo em vista que a indústria madeireira possui uma elevada porcentagem de desperdício de matéria-prima. A madeira se adapta bem à atividade artesanal, por ser um material fácil de ser trabalhado, colado, pregado e encaixado, além de permitir acabamentos com ceras, vernizes e lacas.

Produção de papel. Restos de madeira podem ser utilizados na fabricação de pasta de papel. Porém este processo é pouco utilizado no Brasil, devido à facilidade de obtenção de matéria-prima.

Pó ou farinha de madeira. Obtidas através da moagem dos resíduos de madeira, servem de matéria-prima para empresas fabricantes de plásticos, fundição, explosivos e calçados.

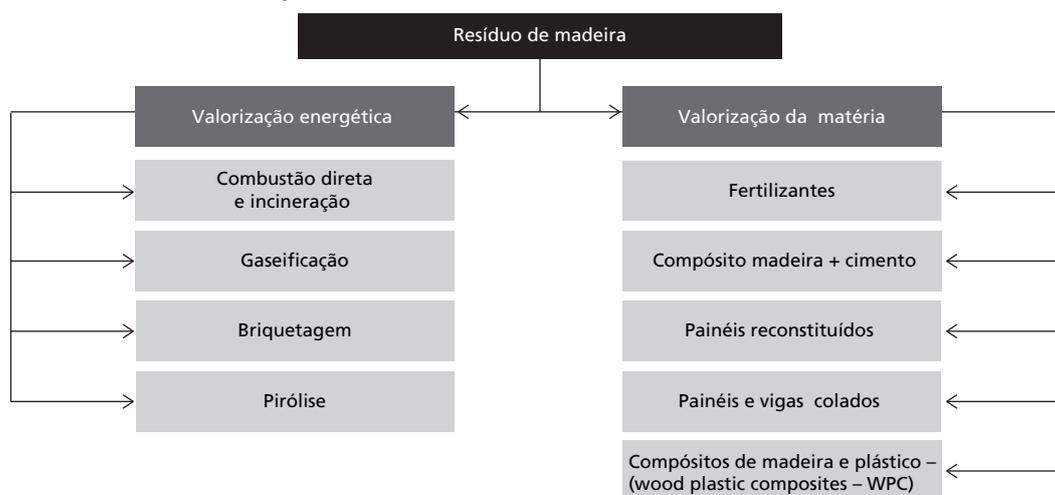
Ocorre, ainda, nas empresas madeireiras, a recuperação e aproveitamento de peças de madeira que, durante o processamento, sofreram algum tipo de avaria, pela técnica denominada *fingerjoints*. Esta técnica consiste em unir peças de madeira através de uma articulação feita por corte de madeira e um conjunto de cortes retangulares complementares, entre duas peças, colando-as. Isto possibilita um aproveitamento maior de peças que seriam transformadas em resíduos, aplicando outras utilidades, como geração de painéis e até mesmo móveis de menor qualidade.

Segundo Quirino (2004), o gerenciamento do resíduo de madeira pode ser abordado sob a ótica de três aspectos:

- eliminação: ação de se desfazer de um resíduo sem tirar nenhum proveito, como a incineração sem recuperação de energia;
- recuperação: ato de aproveitar total ou parcialmente um resíduo através de processos adequados, reduzindo assim o volume destinado à eliminação; e
- valorização: está ligada a alguma ação de desenvolvimento de processo tecnológico, podendo ocorrer de diversas maneiras, como reciclagem, reutilização e regeneração.

O autor apresenta duas maneiras de valorizar o resíduo de madeira, as quais são a valorização energética, quando o destino do resíduo é o aproveitamento da biomassa como fonte de energia, e a valorização da matéria, quando a biomassa do resíduo é aproveitada como matéria-prima para fabricação de outros materiais. A figura 3 apresenta a utilização dos resíduos de madeira conforme o tipo de valorização aplicado.

FIGURA 3
Maneiras de valorização do resíduo de madeira



Fonte: Teixeira (2005), com adaptações.

O uso da biomassa da madeira como combustível pode ocorrer de quatro formas distintas: queima direta pelo processo da combustão de sólidos, gaseificação do resíduo no processo de cogeração, pirólise da madeira e briquetagem. O processo de queima deve garantir a combustão total, para garantir a ausência de compostos indesejáveis nos gases de exaustão e uma boa eficiência. O processo de gaseificação é um processo de queima controlada com deficiência de oxigênio, porém com temperatura alta o suficiente para limitar a produção de condensáveis e alcatrão. Este processo apresenta vantagens como baixo custo, baixos teores de cinzas e enxofre, além de não causar aumento de CO₂ na atmosfera (Finotti *et al.*, 2006).

A pirólise da biomassa consiste na degradação térmica em ausência total ou quase total de agente oxidante a temperaturas que variam de 500 a 1.000° C, havendo transformação em outro combustível sólido, líquido ou gasoso. A briquetagem consiste na aglomeração de partículas finas por meio de pressão, com auxílio ou não de um aglutinante, permitindo a obtenção de um produto não só compactado, porém com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados (Carvalho e Brinck, 2004). A briquetagem entra como valorização energética pelo fato de os briquetes apresentarem elevado poder calorífico e serem utilizados atualmente para geração de energia.

3.3.8 Geração de energia

Conforme Quirino (2004), a utilização energética dos resíduos florestais pode se dar de diferentes formas:

- queima direta, em caldeiras, como lenha ou resíduo, gerando calor ou vapor de processo;
- queima direta em termelétrica para produção e comércio de energia elétrica;
- queima direta em queimadores de partículas, como ocorre na indústria de cerâmica vermelha;
- compactação de resíduos, transformando-os em briquetes para posterior utilização como lenha, em todos os processos que tradicionalmente já utilizam lenha, seja em padarias, pizzarias, caldeiras em geral;
- produção de carvão utilizado comumente para carbonização de lenha;
- carbonização dos resíduos sob a forma de partículas; e
- produção de carvão ativo, a partir de finos de carvão ou de finos de madeira, através de ativação física ou química.

A Associação Brasileira de Indústrias de Madeira Processada Mecanicamente (Abimci) apresenta exemplos de indústrias onde se verificou que, se o material descartado fosse aproveitado, poder-se-ia gerar o equivalente a 85% da energia necessária para o funcionamento dos tanques de cozimento. Com a aquisição de equipamentos adequados, o aproveitamento dos resíduos gerados passou a ser total, reduzindo a biomassa para apenas 15% (Abimci, s.d.).

O cálculo do potencial teórico para geração de energia leva em conta um sistema convencional de turbina a vapor (ciclo Rankine) com dois rendimentos: 15% (pequeno porte) e 30% (médio porte), conforme metodologia apresentada por CENBIO (2008).

Os dados resultantes da geração de resíduos, obtidos a partir das informações do IBGE, são fornecidos em m³ de madeira em tora, sendo necessário converter estes valores para tonelada. Utilizou-se o fator de conversão de 0,45, valor considerando pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2002) como sendo a densidade média do eucalipto no Brasil. Foram considerados, para o cálculo, os dados de resíduos gerados nas etapas de colheita e processamento mecânico de madeira. Salienta-se que, devido à imprecisão nas estimativas de geração, os resultados referentes à produção de energia podem também se apresentar imprecisos.

Levaram-se em conta apenas os resíduos gerados na fase de processamento e colheita. Considerou-se o poder calorífico (PCI) do resíduo como 2 mil kcal/kg (Aneel, 2002) e a conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela divisão por 860. O cálculo do potencial teórico para geração de energia leva em conta um sistema convencional de turbina a vapor (ciclo Rankine) com dois rendimentos: 15% (pequeno porte) e 30% (médio porte).

O cálculo do potencial a partir desse resíduo foi efetuado de acordo com as equações 13 e 14.

Cenário 1 – Para os potenciais maiores que 200 kW/ano e menores que 10 MW/ano, foi considerada a utilização de equipamentos com eficiência (n) = 15%.

$$\text{Potencial (MW)} = \frac{[(t \text{ madeira} \times 0,5) \times \text{PCI} \times 0,15]}{(860 \times 8.322)} \quad (13)$$

Cenário 2 – Para os potenciais maiores que 10 MW/ano, foi considerada a utilização de equipamentos com eficiência (n) = 30%.

$$\text{Potencial (MW)} = \frac{[(t \text{ madeira} \times 0,5) \times \text{PCI} \times 0,30]}{(860 \times 8.322)} \quad (14)$$

Considera-se, em ambos os cenários, que o sistema opere o ano todo com os resíduos gerados e que a operação ocorra em 95% das horas anuais, o que resulta em 8.322 horas de operação/ano.

A tabela 76 apresenta a estimativa de geração de energia a partir dos resíduos produzidos nas etapas quantificadas do setor florestal. Identifica-se que a região Sul apresentou o maior potencial de geração de energia a partir de resíduo madeireiro, alcançando um valor de 567,76 MW, representando cerca de 36% do potencial total do país, que é de aproximadamente 1.605 MW. Em seguida, as regiões Sudeste e Norte apresentam potenciais consideráveis, de 424,05 e 246,28 MW, respectivamente, representando, juntas, 41,78% do potencial de geração para o país. O estado do Paraná é o mais representativo, atingindo um potencial de geração de energia de 296,93 MW, seguido de São Paulo, Bahia, Santa Catarina e Pará.

TABELA 76
Potencial de geração de energia a partir de resíduos madeireiros (2009)

| | Potencial (MW) | | |
|---------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|
| | Resíduos de colheita | Resíduos de processamento | Total |
| Brasil | 650,03 | 954,41 | 1.604,44 |
| Norte | 189,03 | 57,25 | 246,28 |
| Rondônia | 27,47 | 4,48 | 31,96 |
| Acre | 1,22 | 0,20 | 1,42 |
| Amazonas | 21,37 | 3,51 | 24,88 |
| Roraima | 1,02 | 0,17 | 1,19 |
| Pará | 127,36 | 36,58 | 163,93 |
| Amapá | 9,73 | 12,18 | 21,91 |
| Tocantins | 0,85 | 0,14 | 0,99 |
| Nordeste | 82,14 | 145,32 | 227,46 |
| Maranhão | 3,96 | 0,59 | 4,55 |
| Piauí | 1,22 | 0,20 | 1,42 |
| Ceará | 0,51 | 0,16 | 0,67 |
| Rio Grande do Norte | 0,07 | 0,01 | 0,08 |
| Paraíba | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pernambuco | 0,35 | 0,06 | 0,41 |
| Alagoas | 0,09 | 0,17 | 0,26 |
| Sergipe | 0,14 | 0,04 | 0,18 |
| Bahia | 75,80 | 144,09 | 219,89 |
| Sudeste | 118,28 | 305,77 | 424,05 |
| Minas Gerais | 26,12 | 66,19 | 92,30 |
| Espírito Santo | 20,32 | 52,90 | 73,22 |
| Rio de Janeiro | 0,26 | 0,64 | 0,89 |
| São Paulo | 71,59 | 186,05 | 257,64 |
| Sul | 168,07 | 399,68 | 567,76 |
| Paraná | 90,90 | 206,03 | 296,93 |
| Santa Catarina | 52,94 | 132,17 | 185,11 |
| Rio Grande do Sul | 24,23 | 61,48 | 85,71 |
| Centro-Oeste | 92,51 | 46,38 | 138,90 |
| Mato Grosso do Sul | 12,49 | 32,09 | 44,58 |
| Mato Grosso | 79,43 | 13,25 | 92,68 |
| Goiás | 0,58 | 1,05 | 1,63 |
| Distrito Federal | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Elaboração dos autores.

Cabe salientar que, nesses cálculos, não foram contabilizados resíduos de toda a cadeia produtiva do setor florestal, representando, desta forma, um valor subestimado do potencial total de geração de energia oriundo de resíduos do setor.

Segundo Wander e Altafini (2004), em geral, as principais dificuldades para a utilização dos resíduos de madeira para aproveitamento energético são a sua forma e a umidade. No caso de fábricas de móveis, a matéria-prima já se encontra seca, portanto, o problema da secagem pode ser descartado. O teor de umidade da biomassa está relacionado com o poder calorífico, pois, quanto maior a umidade, menor o poder calorífico gerado. Simioni e Hoeflich (2010) asseveram que a presença de impurezas implica geração de volume maior de resíduos do processo de queima (teor de cinzas), causando maior impacto ambiental devido à sua destinação. A classificação por tipo ou categoria é outro fator importante para a blendagem do combustível destinado à queima nas caldeiras.

A geração de energia a partir de resíduos de biomassa ocorre em plantas de pequena escala, sendo geralmente inferior a 15 MW. Conforme apontam Simioni e Hoeflich (2007), o melhor aproveitamento destes resíduos para geração de energia regional depende de alguns fatores, que necessitam de melhoria e mais pesquisas, de acordo com a realidade regional, tais como:

- adequação do sistema de colheita florestal visando o aproveitamento dos resíduos;
- adaptação do sistema de geração de energia para otimização do uso da biomassa;
- avaliação dos diferentes sistemas de estocagem de biomassa;
- identificação das propriedades energéticas dos diferentes tipos de resíduos madeireiros; avaliação da oferta e da demanda de resíduos na região;
- avaliação da demanda de energia nas empresas da região;
- análise técnico-econômica e financeira do uso de biomassa para pequenas unidades de geração de energia;
- normas regulatórias que favoreçam a comercialização de excedentes de energia gerados;
- viabilidade econômica da pré-industrialização de resíduos florestais e industriais madeireiros;
- avaliação do potencial de utilização dos resíduos do processo de queima;
- eficiência do uso da biomassa para geração de energia térmica e elétrica;
- logística do suprimento de biomassa; e
- impactos sociais, ambientais e econômicos da produção de energia de biomassa.

Especificamente nas fábricas de celulose e papel, é gerado um subproduto de elevado potencial energético, denominado licor negro. Este é um subproduto do processo de cozimento *kraft* empregado na fabricação de polpa celulósica para posterior utilização para fabricação de papel. O licor negro é usado como combustível em usinas de cogeração da própria fábrica de celulose. Atualmente, existem catorze usinas abastecidas por licor negro (resíduo da celulose) no Brasil, com capacidade instalada de 1.245 MW (Aneel, 2011). A utilização deste subproduto como combustível é uma excelente alternativa para geração de energia nas fábricas de celulose instaladas no país, evitando que seja descartado inadequadamente.

4 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DOS RESÍDUOS GERADOS NAS ATIVIDADES AGROSSILVOPASTORIS

4.1 Considerações gerais

Segundo Munn (1975 *apud* Sánchez, 2006), ações humanas atuam sobre aspectos ambientais que, por sua vez, podem gerar impactos ambientais.

Conforme a Resolução Conama nº 001/86 (Brasil, 1986), em seu Artigo 1º, o conceito de impacto ambiental é considerado como

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II – as atividades sociais e econômicas;
- III – a biota;
- IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V – a qualidade dos recursos ambientais.

Os resíduos agropecuários e a geração de resíduos florestais podem provocar impactos ambientais, no sentido de gerar “alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocadas por ação humana”, conforme conceito proposto por Sánchez (2006).

Assim, este estudo desenvolvido para os resíduos agrossilvopastoris realizou uma análise dos principais impactos decorrentes do setor, demonstrando em que etapas estes impactos ocorrem e seus desdobramentos.

A identificação, avaliação e controle dos impactos ambientais das atividades agrossilvopastoris devem ser estimulados, pelo destaque que estas atividades possuem no país. Estudos regionalizados devem ser realizados visando à redução dos impactos decorrentes da disposição inadequada dos resíduos gerados, abrangendo os aspectos ambiental, econômico, social e de saúde.

4.2 Metodologia

Neste estudo, os impactos ambientais são apresentados por meio de redes de impactos, caracterizadas como informações qualitativas. As redes de impactos estruturadas apontam as ações – geração de resíduos da agricultura, silvicultura, criações animais e agroindústrias primárias associadas –, os constituintes destes resíduos e os potenciais impactos ambientais diretos. Não são apresentadas informações quantitativas, pois, para isto, seria necessária a aplicação de métodos de avaliação de impacto ambiental nos diferentes tipos, sistemas utilizados, porte, visando abranger a maior quantidade de situações e ambientes possíveis, com vistas à elaboração de um cenário nacional.

As redes de interação indicam as relações sequenciais de causa e efeito (cadeia de impacto) a partir de uma ação impactante. Estas redes permitem um bom entendimento das relações entre as ações e os impactos resultantes, sejam eles diretos ou indiretos (Sánchez, 2006).

4.3 Escopo e limitações do estudo

Os resultados deste estudo foram apresentados em rede de impactos positivos para as atividades agrossilvopastoris e rede de impactos negativos separadamente para a pecuária, agroindústrias primárias associadas à agricultura e à pecuária, e resíduos da silvicultura. Como os resíduos gerados por estas atividades possuem em geral características e possibilidades de utilização semelhantes, optou-se por fazer uma única rede de impactos positivos.

Na rede de interação de impactos estruturada para a agricultura, não foram considerados os resíduos gerados na produção (lavoura) e, sim, os gerados nas agroindústrias primárias de processamento. Entende-se que os resíduos gerados durante a produção, incluindo os que se referem às perdas da agricultura, devem permanecer na lavoura, dado que estarão repondo parte dos nutrientes retirados, protegendo o solo, evitando custos adicionais com aplicação de fertilizantes químicos, além de outros benefícios que serão abordados posteriormente.

Os impactos gerados pela pecuária são decorrentes da produção de resíduos da fase de operação das criações, não sendo contemplados os impactos decorrentes da implantação do empreendimento.

Os impactos referentes ao setor florestal são abordados de forma geral, englobando todo o setor, a partir da retirada da madeira e a adição de outros produtos que podem apresentar característica de resíduo perigoso à madeira. Os impactos associados na rede não distinguem a fase de geração do resíduo, mas apontam o resíduo sabendo-se que este é gerado nas etapas dos processos produtivos da cadeia da madeira.

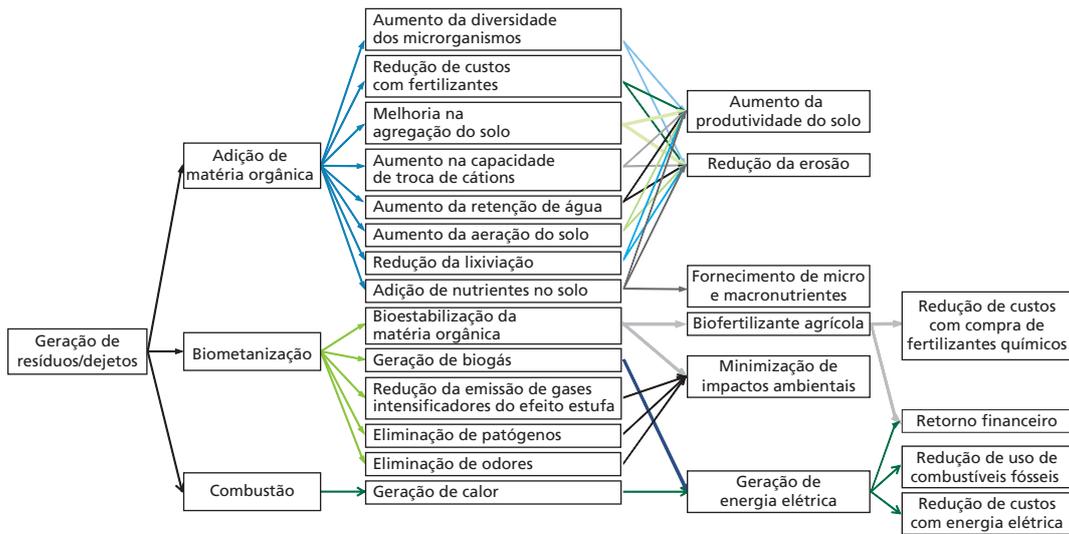
4.4 Resultados

4.4.1 Impactos positivos dos resíduos gerados nas atividades agrossilvopastoris

Nem todo impacto é necessariamente negativo no caso dos resíduos agrossilvopastoris. Quando bem manejados, tratados e dispostos adequadamente, os impactos potenciais resultantes dos resíduos oriundos das criações animais e indústrias primárias da agricultura e da pecuária podem ser minimizados ou evitados, além de reverterem em benefícios para a propriedade onde são gerados. A utilização dos resíduos na agricultura (aplicação no solo de forma controlada) e a geração de energia, por exemplo, podem representar ganhos ambientais e econômicos, além de minimizar os impactos negativos da disposição e lançamento inadequados. Neste sentido, estruturou-se uma rede de potenciais impactos positivos para estas atividades, a qual está apresentada na figura 4.

A disposição de matéria orgânica no solo introduz nutrientes e aumenta a diversidade de microrganismos, proporcionando a ciclagem de nutrientes e a redução de custos com a compra de fertilizantes químicos, entre outros benefícios ao meio ambiente (Lucon e Chaves, 2004). Esta prática pode trazer uma melhoria expressiva na fertilidade do solo, com um aumento na capacidade de troca de cátions, que é a capacidade que tem um solo de reter ou liberar nutrientes para serem absorvidos e aproveitados pelas plantas, além de um aumento da retenção de água e da aeração do solo e redução da lixiviação. Consequentemente, ocorre aumento da produtividade do solo e redução da erosão (Silva *et al.*, 2009). No entanto, é necessário que o resíduo seja bioestabilizado para posterior disposição, de modo que os componentes dos resíduos não excedam a capacidade do solo para absorvê-los e armazená-los, evitando-se, assim, impactos negativos.

FIGURA 4
Impactos positivos dos resíduos agrossilvopastoris



Além da disposição no solo, outra possibilidade de uso dos resíduos e dejetos é a biometanização da fração orgânica. A biodigestão da matéria orgânica promoverá sua bioestabilização, com consequente produção de biofertilizante agrícola de ótima qualidade. A biometanização resulta na produção do biogás, o qual poderá ser convertido em energia elétrica ou utilizado para combustão. Nos dois casos, os impactos constituem-se na redução da utilização de fertilizantes químicos, redução de gastos com energia elétrica e uso de combustíveis fósseis. Além destes impactos positivos, tem-se ainda a redução da emissão de gases intensificadores do efeito estufa, a eliminação de patógenos e a eliminação de odores, devido à degradação da matéria orgânica presente nos resíduos.

A utilização dos biodigestores no meio rural tem merecido destaque devido aos aspectos de saneamento e geração de energia, além do estímulo à reciclagem orgânica e de nutrientes (Lucas Júnior, 1994 *apud* Oliveira, 2004). Oliveira (2004) cita como vantagens da biodigestão anaeróbia o tratamento dos efluentes, a redução de odores e a eliminação de patógenos.

Semelhante aos resíduos agropecuários, os resíduos florestais podem resultar em impactos positivos quando são utilizados para a geração de energia ou incorporados ao solo. Finotti *et al.* (2006) destacam que a incorporação do resíduo no solo melhora sua fertilidade e aumenta o conteúdo de matéria orgânica dos horizontes superficiais, resultando em efeitos benéficos às propriedades físicas e químicas do solo trabalhado. Salienta-se que, para o emprego no solo, deve haver uma etapa anterior de processamento e picotamento do resíduo, com o intuito de reduzir o tamanho das partículas do resíduo para melhor aplicação.

A utilização dos resíduos madeireiros para geração de energia também tem sido uma atividade rentável, contribuindo para a redução dos custos com energia e consequentemente aumentando a sua disponibilidade. A utilização de resíduos de madeira para a geração de energia térmica e elétrica tem sido vista de forma apazível, pelo fato de ser considerado um combustível limpo, com geração mínima de compostos nitrogenados e sulfurados. A utilização deste resíduo como coprodução local de aquecimento e eletricidade tem impacto profundo na capacidade das populações rurais de acessar formas de energia modernas e mais limpas.

Bellote *et al.* (1998), discorrendo sobre os resíduos oriundos da fabricação de celulose e papel, citam que sua aplicação no solo apresenta os seguintes benefícios: *i*) elevação do pH com conseqüente aumento na disponibilidade de determinados nutrientes, notadamente fósforo e micronutrientes; *ii*) aumento da capacidade de troca de cátions dos solos; *iii*) incorporação de nutrientes minerais necessários às árvores; e *iv*) melhoria das propriedades físicas, como a granulometria, a capacidade de retenção de água e a densidade do solo. Além disso, a aplicação de resíduos da celulose e cinza de caldeiras aumenta a atividade biológica do solo, acelerando a decomposição da serrapilheira e a ciclagem de nutrientes.

A utilização dos resíduos oriundos do processo de abate e das indústrias de transformação, com raras exceções (como exemplo, processos de madeira tratada), apresenta impactos positivos para as áreas de reflorestamento e silvicultura, corrigindo o solo onde ocorre o replantio, uma vez que, em sua maior parte, os solos apresentam baixa fertilidade (Bellote *et al.*, 1998).

O setor agrossilvopastoril, contudo, pode gerar também impactos negativos, quando os resíduos não são bem manejados, tratados e dispostos adequadamente. Os impactos negativos de cada uma das atividades (agricultura, pecuária, silvicultura e agroindústrias primárias associadas) são apresentados de forma isolada, devido às diferenças existentes nas características e composições dos resíduos.

4.4.2 Impactos negativos dos resíduos das agroindústrias associadas à agricultura

Os impactos que as agroindústrias associadas à agricultura podem causar nas regiões onde se instalam são inúmeros, tanto do ponto de vista ambiental quanto social, sendo que estes impactos refletem diretamente na qualidade de vida da população (Pedroso, 2005). A rede de impactos negativos dos resíduos gerados nas agroindústrias associadas à agricultura está apresentada na figura 5.

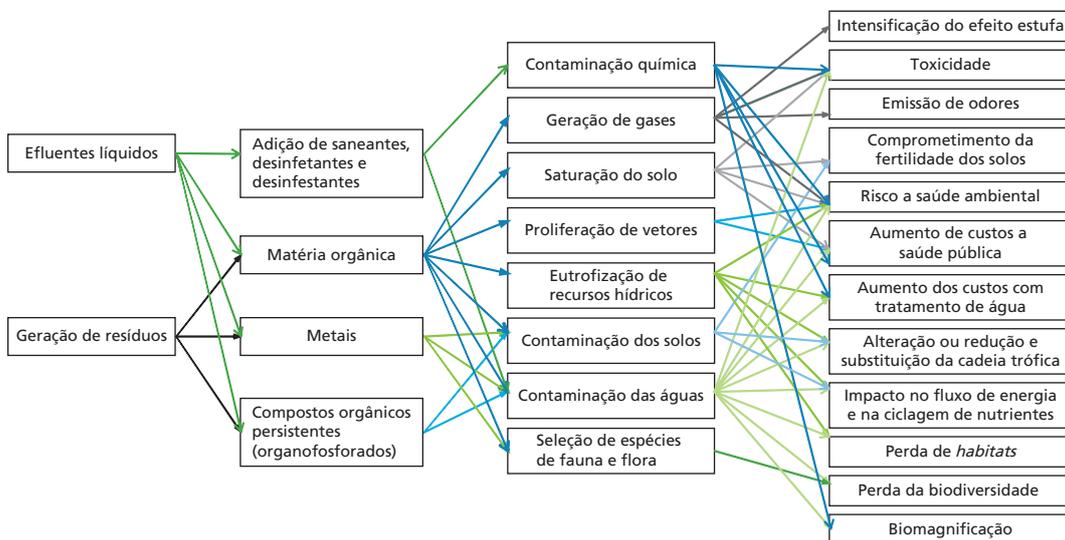
Como impactos primários da geração de resíduos desta atividade, tem-se a adição excessiva de matéria orgânica no solo, adição de metais no solo e na água e a presença de compostos orgânicos persistentes no solo e na água. No que tange ao acréscimo de matéria orgânica no solo, tem-se como impactos secundários a geração de gases, a saturação do solo e a eutrofização de recursos hídricos, e impactos terciários. Em consequência da adição de agroquímicos nas lavouras, parte dos metais fica agregada nos resíduos e contribui para a contaminação do solo, das águas e, por vezes, podem causar a seleção de espécies.

Cita-se, ainda, como impacto secundário negativo, a presença de compostos orgânicos persistentes, como os inseticidas. Segundo Frutuoso e Silva (2001), estes compostos resistem à degradação química, fotolítica e biológica e são de origem essencialmente antropogênica, nomeadamente associada à fabricação e utilização de compostos químicos. Por possuírem baixa solubilidade na água, mas alta solubilidade nos lipídios, causam como principal consequência a sua acumulação nos tecidos adiposos. Esta característica, aliada à sua persistência, potencializa a sua periculosidade no nível da cadeia alimentar e, conseqüentemente, os riscos de exposição dos consumidores de topo, como é o caso do homem.

Como impactos terciários relacionados aos resíduos dessas agroindústrias, têm-se a intensificação do efeito estufa, a toxicidade gerada a partir da saturação do solo devido à alta carga de nutrientes, a emissão de odores, o comprometimento da qualidade dos solos, o risco à saúde ambiental e o conseqüente aumento de custos com a saúde pública, aumento de custos com o tratamento da água, alteração ou redução e substituição da cadeia trófica, impacto no fluxo de energia e na ciclagem de nutrientes, perda de *habitats*, perda da biodiversidade e biomagnificação.

Nas agroindústrias associadas à agricultura, soma-se, ainda, aos impactos supramencionados, a presença do efluente líquido, que, por sua vez, trará a adição de saneantes, desinfetantes e desinfestantes. Estes causam o impacto negativo secundário de contaminação química do solo e da água (figura 5).

FIGURA 5
Impactos negativos dos resíduos na agroindústria associada à agricultura

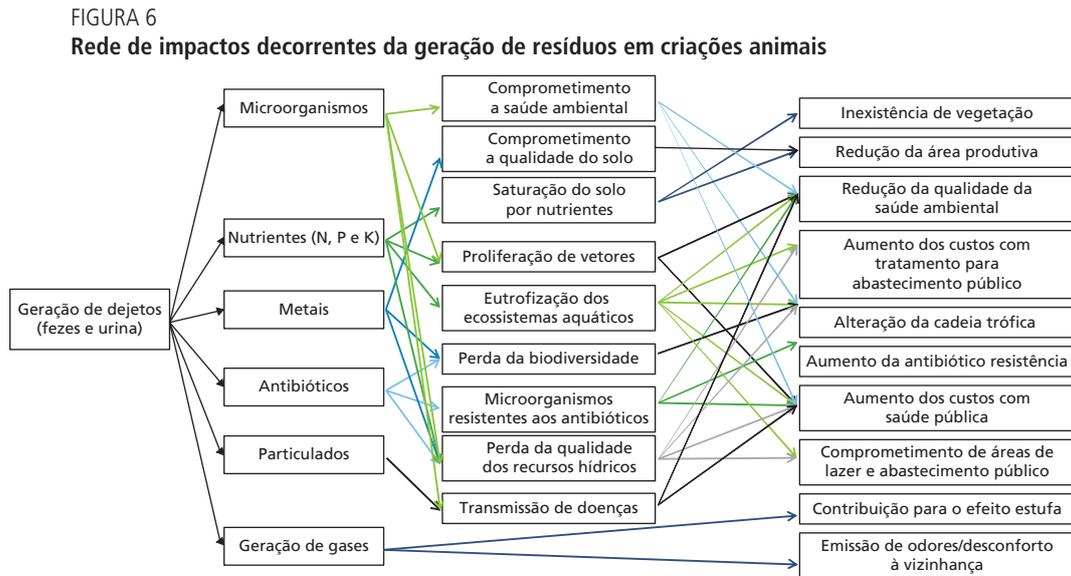


4.4.3 Impactos ambientais decorrentes dos dejetos gerados na pecuária e dos resíduos das indústrias primárias associadas

Entre os impactos ambientais resultantes das atividades pecuárias avaliadas neste estudo, cita-se a suinocultura como a criação com maior potencial poluidor, seguida da bovinocultura e da avicultura. Pohlmann (2000) afirma que os potenciais impactos ambientais resultantes da criação de aves, realizada em sistema intensivo e regime de integração, é menor que os gerados pela criação de suínos, que ocorre no mesmo modelo de criação. Quando comparados aos impactos potenciais dos bovinos, pode-se inferir que os impactos provocados pelo gado leiteiro são maiores que os gerados pelo gado de corte. Ainda segundo o mesmo autor, a bovinocultura no Brasil é predominantemente extensiva – os animais ficam soltos no pasto, e os dejetos, espalhados pelo campo em uma grande área –, embora exista uma tendência de aumento das criações confinadas. No caso do gado leiteiro, o risco de impacto ambiental é maior, pois os animais produzem uma quantidade superior de dejetos e, mesmo em criações não confinadas, ocorre o confinamento dos animais em estábulos utilizados para ordenha e a lavagem dos equipamentos utilizados.

Nos abatedouros são geradas quantidades expressivas de resíduos orgânicos, sendo que uma parcela significativa destes é reaproveitada em graxarias para a elaboração de outros subprodutos. No entanto, ainda são gerados resíduos sólidos e líquidos com alta carga orgânica.

A figura 6 apresenta a rede de impactos diretos gerados pelos dejetos resultantes das criações animais (bovinos, suínos e aves). Os impactos apresentados ocorrem em todas as criações, porém em proporções diferentes de criação para criação, em decorrência do sistema de manejo e de tratamento adotado, bem como das características do dejetos.



Os dejetos gerados nas criações animais possuem, ainda, altas concentrações de nutrientes, metais, micro-organismos e antibióticos. Os principais nutrientes que compõem estes resíduos, de alta carga orgânica, são o nitrogênio, o fósforo, o cálcio e o potássio. A disposição contínua destes nutrientes no solo gera diversos impactos, entre eles:

- tornam o solo saturado, dificultando o crescimento da vegetação e reduzindo a área agrícola;
- propiciam a proliferação de vetores, causando riscos à saúde pública e aumento dos custos neste setor, em decorrência de doenças que podem ser ocasionadas; e
- causam eutrofização dos ecossistemas aquáticos, o que leva ao aumento de custos com o tratamento de água em barragens de abastecimento público para retirada dos nutrientes, riscos à saúde pública – pois causam doenças –, e à redução e substituição da fauna e flora aquática.

Segundo Steinfeld *et al.* (2006), em relatório publicado pela FAO, a pecuária é provavelmente a maior fonte setorial de poluição das águas, contribuindo para a eutrofização, surgimento de “zonas mortas” em áreas costeiras, degradação de recifes de corais, problemas de saúde humana, de emergência, de resistência a antibióticos e muitos outros.

Os metais são adicionados às rações para aumentar a taxa de conversão dos animais. Segundo Steinfeld *et al.* (2006), os animais são capazes de absorver apenas de 5% a 15%, resultando em dejetos com alta taxa destes metais. Os metais presentes nestes dejetos, principalmente ferro, cobre e zinco, quando dispostos continuamente em uma mesma área, tornam o solo infértil, reduzindo assim a área produtiva, bem como selecionam e reduzem as espécies da flora e da fauna local.

Os micro-organismos presentes nos dejetos são oriundos do trato digestivo dos animais ou desenvolvem-se em decorrência da alta taxa de matéria orgânica, causando doenças, redução e substituição da fauna e da flora, riscos à saúde pública e aumento dos custos com tratamento de doenças.

Além dos metais contidos nas rações fornecidas aos animais, antibióticos também são adicionados, pois visam evitar doenças no rebanho. Estes antibióticos são eliminados parcialmente nos dejetos, que, posteriormente, serão dispostos no ambiente. Uma vez no ambiente, levam à seleção da fauna e da flora e, com isso, à redução e substituição das espécies. Os antibióticos e metais não são totalmente eliminados pelos tratamentos convencionais, por isso, quando dispostos ou eliminados no ambiente podem reduzir sua qualidade. Os antibióticos acarretam a seleção de micro-organismos e, em consequência, tornam-nos resistentes a antibióticos, causando riscos à saúde pública e, novamente, aumento de custos neste segmento. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2001), um crescente conjunto de evidências estabelece a relação entre a utilização de antimicrobianos em animais usados na produção de alimentos e o surgimento de resistência em patógenos comuns.

O sinergismo das ações impactantes leva à perda da qualidade dos recursos hídricos, tanto superficiais, quanto subterrâneos e, com isso, ao aumento de custos com tratamento da água para abastecimento, riscos à saúde pública, aumento de custos com saúde pública e, ainda, comprometimento de áreas de lazer e abastecimento público.

A emissão de particulados, por sua vez, a exemplo da cama de aviário, pode causar doenças como alergias, problemas respiratórios e aquelas afecções mais recentemente conhecidas, como a gripe aviária e o vírus Nipah (HSI, 2011), em trabalhadores das granjas e vizinhança.

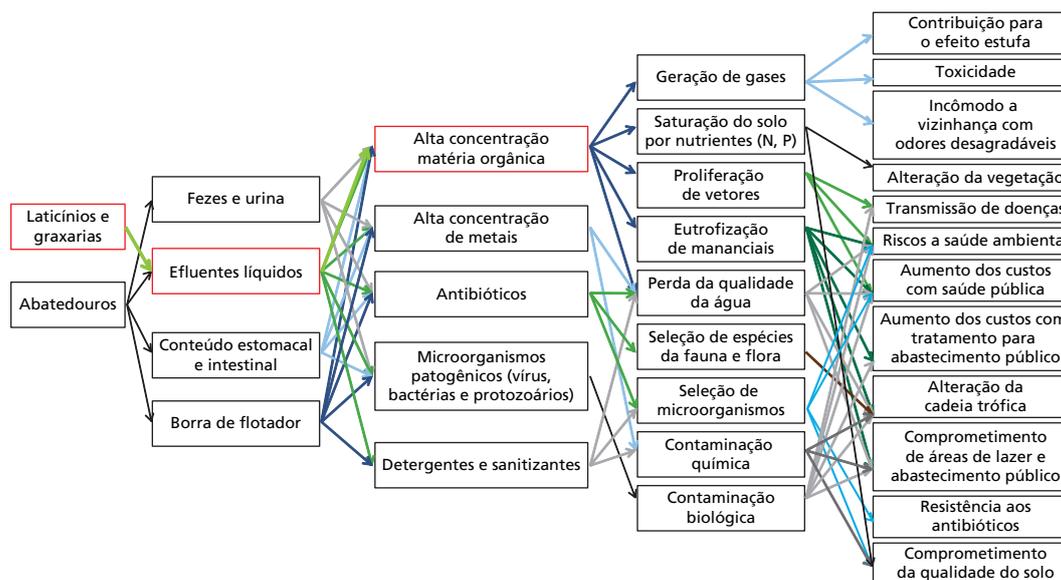
O armazenamento e a aplicação de dejetos geram gases dos tipos dióxido de carbono, metano, óxido nítrico, sulfeto de hidrogênio e amônia. Os três primeiros gases citados são os principais contribuintes do efeito estufa. Os dois últimos, por seu turno, em função dos odores, acarretam incômodo à população vizinha e, em determinadas quantidades, podem ser tóxicos aos seres vivos.

Em um primeiro momento, os impactos citados não revertem em prejuízos para a criação, mas, posteriormente, podem inviabilizar sua continuidade, pois são extremamente dependentes dos recursos naturais, que estão sendo contaminados. Os efeitos dos impactos podem ser diretos ou indiretos, de curto, médio ou longo prazo, dependendo das medidas preventivas realizadas (sistemas de tratamento, por exemplo), tipo de solo, magnitude e importância do evento e outras características ambientais e da criação. Os impactos podem ser minimizados ou até mesmo evitados com a implementação de novas tecnologias e medidas preventivas que reduzam a probabilidade de sua ocorrência.

A seguir são descritos os impactos diretos decorrentes dos dejetos e efluentes gerados nas agroindústrias de abatedouros e laticínios, conforme apresentado na figura 7.

FIGURA 7

Rede de impactos decorrentes da geração de resíduos e efluentes das agroindústrias primárias associadas à pecuária



Os impactos dos resíduos e efluentes das agroindústrias primárias associadas à pecuária são semelhantes aos causados pelos dejetos animais. A alta concentração de matéria orgânica resulta em impactos no solo e na água superficial e subterrânea. Quando dispostos no solo, os resíduos sem tratamento adequado geram a saturação por nutrientes (principalmente N e P), e, com isso, a alteração da vegetação e comprometimento da qualidade do solo. A disposição inadequada dos resíduos contribui, ainda, com a proliferação de vetores e com a eutrofização dos recursos hídricos superficiais, potencializando o risco de transmissão de doenças e aumentando os custos com saúde pública (tratamento e programas de prevenção e conscientização) e tratamento de água, além de provocar alterações da cadeia trófica.

A grande quantidade de resíduos gerados em uma pequena área, associada à concentração de matéria orgânica, armazenamento deficiente e ação de bactérias, leva à produção de gases que podem contribuir para o efeito estufa, além de serem tóxicos aos animais e seres humanos e emitirem odores que trazem incômodo à vizinhança.

Os metais e os antibióticos fornecidos aos animais ainda estarão presentes nos diferentes tipos de resíduos gerados em abatedouros, causando contaminação ambiental e todas as consequências negativas descritas anteriormente. Na composição dos resíduos, encontram-se também micro-organismos que, em primeiro grau, acarretam a contaminação biológica do solo e da água e, em segundo nível, geram impactos com aumento da transmissão de doenças, riscos à saúde ambiental, custos com saúde pública e tratamento da água, bem como o comprometimento das áreas de lazer e do abastecimento público.

Detergentes, saneantes e outros produtos auxiliares são utilizados na limpeza e sanitização dos equipamentos, materiais e salas, como descrito por Pacheco (2006). Dependendo do sistema de tratamento instalado, os compostos presentes nos detergentes e desinfetantes não são removidos ou degradados, e também podem causar distúrbios no sistema. Alguns resíduos de detergentes permanecem nos lodos das estações de tratamento de efluentes, o que pode limitar as opções de disposição final destes. Além disso, se forem descartados no ambiente sem tratamento, contaminam quimicamente o solo e a água, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos e do solo, além de selecionar micro-organismos presentes

no ambiente natural. A perda da qualidade da água e a seleção de micro-organismos resultam em riscos à saúde ambiental e em aumento de custos com a saúde pública. A seleção de micro-organismos por efeito dos antibióticos torna os patógenos resistentes (tanto no solo, quanto na água) e comprometem a qualidade ambiental. A contaminação química e a perda da qualidade da água levam a alterações na cadeia trófica e comprometimento de áreas de lazer e do abastecimento público.

Nos quadros destacados na rede de impactos (borda vermelha, figura 8), em laticínios e graxarias, o principal resíduo gerado é o efluente, que possui alta taxa de matéria orgânica e em decorrência gera impactos no solo, ar, água e saúde ambiental, como já descrito anteriormente.

4.4.4 Impactos ambientais de resíduos do setor florestal

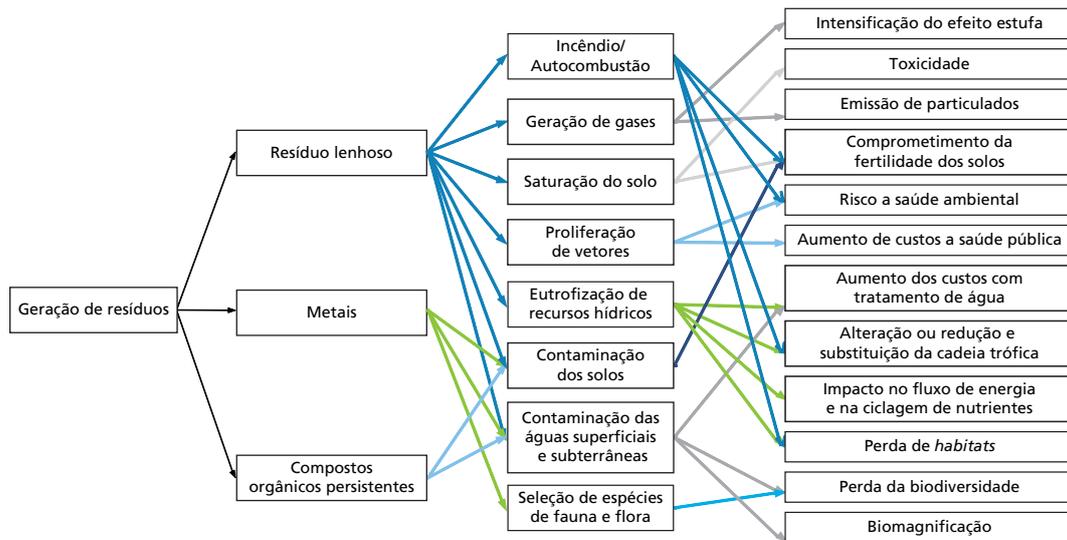
Os principais impactos negativos resultantes das atividades da cadeia produtiva da madeira são apresentados na figura 8. A rede de impactos é complexa, pois cada ação resulta em efeito sinérgico, gerando outro impacto. A magnitude, importância, temporalidade e duração são de difícil quantificação pelas inúmeras atividades que geram estes resíduos. Sua localização e determinação da quantidade de resíduos não é precisa, fator que torna difícil a identificação quanto à magnitude do impacto gerado. Porém, nas áreas de plantios, onde há substancial quantidade de resíduos lenhosos e onde ainda não há ações para agir preventivamente buscando máxima ecoeficiência e mínima geração de resíduos e de perdas de madeira, os impactos causados podem ser consideráveis. Como exemplo, podem ocorrer incêndios devido à autocombustão, quando o resíduo possui baixa umidade, provocando perda de habitats e alteração na cadeia trófica, além do risco à saúde ambiental.

A acumulação de resíduos pode ocasionar a degradação anaeróbia, com formação de lixiviado, sendo este carregado para cursos d'água, ou mesmo infiltrado no solo, atingindo os corpos hídricos subterrâneos.

A madeira pode se apresentar, ainda, como risco à saúde humana, sendo classificada como resíduo perigoso, em alguns casos, como a madeira tratada, painéis de fibras de média densidade (MDF), aglomerados que contêm preservativos químicos como os fungicidas, pesticidas e inseticidas. Os preservativos mais utilizados para tratar a madeira são o creosoto e pentaclorofenol, que são usados para aplicações industriais, como postes e dormentes; e o arseniato de cobre cromado (CCA) e preservativos baseados em cobre, que são utilizados para tratar produtos industriais e produtos utilizados em residências, tais como madeiras e compensados. Destes, o mais utilizado é o CCA, pois é aplicado em cerca de 66% (em volume) das madeiras tratadas em todo o mundo (Jacobi *et al.*, 2007; Janin *et al.* 2009).

FIGURA 8

Rede de impactos negativos provocados pela geração de resíduo florestal



Conforme McMahon *et al.* (2009), a madeira tratada com CCA é comumente eliminada em aterros sanitários juntamente com os resíduos sólidos urbanos, porém apresenta componentes tóxicos, sendo prejudicial para o meio ambiente no final da sua vida útil devido à sua composição: 19% de óxido de cobre II (CuO_2), 50% de óxido de cromo III (CrO_3) e 31% de óxido de arsênio V (As_2O_5). O arsênico e o cromo são considerados cancerígenos, e o cobre representa risco de toxicidade crônica.

Segundo Shibata *et al.* (2007), a principal forma de contaminação do ser humano durante a vida útil da madeira tratada é pelo contato direto com este – por exemplo, quando a pessoa toca na madeira e depois leva a mão à boca – ou por meio da inalação de partículas da madeira durante a construção e atividades de manutenção. Porém, com o passar dos anos, os níveis de arsênico desalojáveis diminuem e, assim, a principal via de exposição pode passar do contato direto com a madeira para o contato indireto, através do solo e da água.

A madeira, apesar das altas taxas de redução de materiais contaminantes durante sua vida útil, ainda contém elevadas concentrações de metais, estando suscetível à lixiviação de substâncias químicas, o que pode provocar a deterioração da qualidade do solo, devido à presença do arsênio, e das águas subterrâneas ou de superfície, devido à presença do cobre (Janin *et al.*, 2009; McMahon *et al.*, 2009).

Diante disso, torna-se necessário pesquisar produtos alternativos para a proteção da madeira, para que nela não se necessite continuar a utilizar materiais perigosos, bem como criar alternativas para a disposição final das madeiras que ainda serão descartadas.

Em relação às indústrias de transformação, cabe destacar a preocupação com as indústrias de celulose e papel, as quais geram um gama considerável de resíduos, como lama de cal, lodo biológico, resíduo celulósico, cinza de caldeira resultante da queima de biomassa. A opção por aterro sanitário para disposição final destes resíduos é inviável, em função dos altos custos para sua implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental. A destinação inadequada pode gerar uma série de impactos, como apresentado anteriormente.

Os resíduos de madeira também são comumente utilizados como cama de aviário e em fornos de olarias, o que é interessante do ponto de vista ambiental, por reduzir o uso de material virgem. No entanto, quando madeira quimicamente tratada é utilizada na produção de cama de aviário, cria-se um problema ambiental ao rebanho de aves e posteriormente ao solo onde será disposta. Além disso, muitas empresas integradoras proíbem o uso de maravalha oriunda de moveleiras, pois não possuem garantia da qualidade do produto. Quando a madeira tratada é utilizada como combustível para fornos de olarias, as substâncias químicas são volatizadas, causando contaminação do ar, dado que, na maioria das vezes, estas indústrias não possuem equipamento de tratamento dos gases.

4.5 Considerações acerca dos resultados

As atividades da agricultura, bem como das suas agroindústrias associadas, geram impactos diversos no meio ambiente. Conforme demonstrado anteriormente, estes impactos podem ser positivos, reduzindo a erosão do solo, fornecendo nutrientes ao solo, gerando energia através de fonte renovável, entre outros. Entretanto, também podem ser negativos, resultando na contaminação do solo, da água e do ar, e provocar danos sobre a saúde humana e ao funcionamento dos ecossistemas.

Os elevados níveis de produção alcançados com vistas ao atendimento das demandas da sociedade têm gerado cada vez maiores impactos negativos ao meio ambiente. Tais impactos contribuem para a degradação do estoque de capital natural e, em consequência, para o prejuízo do provimento dos serviços ecossistêmicos (Paiva, 2009). Sendo assim, torna-se necessária a conscientização de que os ativos ambientais devem ser utilizados de maneira sustentável, a fim de se manter, no futuro próximo, a capacidade de produção e as condições adequadas à manutenção da vida humana e dos ecossistemas.

Os impactos resultantes das atividades pecuárias e suas agroindústrias associadas podem provocar alterações no meio ambiente como um todo. Os setores avaliados contribuem significativamente para a contaminação do solo, do ar e da água, e futuramente podem vir a inviabilizar a continuidade das criações. Porém, estes impactos podem ser minimizados e evitados com a implantação de sistemas de tratamento eficientes e adequados para cada situação, podendo até mesmo reverter em benefícios para a propriedade ou estabelecimento comercial.

A produção de fertilizantes para adubação orgânica do solo e a geração de energia a partir de resíduos e efluentes são possibilidades efetivas de mitigar impactos e gerar benefícios econômicos, com resultados positivos para a produção agrícola e para a matriz energética nacional.

5 LEGISLAÇÃO

No Brasil, a Política Nacional do Meio Ambiente foi instituída pela Lei nº 6.938, em 21 de agosto de 1981 (Brasil, 1981), e é considerada a precursora das leis voltadas à qualidade ambiental no país. A política ambiental brasileira propriamente dita se desenvolveu de forma tardia quando comparada às demais políticas setoriais do país, e se deu basicamente em resposta às exigências do movimento internacional ambientalista. Este movimento surgiu e se desenvolveu nos últimos quarenta anos, como resultado da ação de movimentos sociais locais e de pressões vindas de fora do país.

Um dos problemas ambientais decorrentes do setor agrossilvopastoril é a geração de resíduos orgânicos, principalmente de criações de animais. O aproveitamento destes resíduos na agricultura é previsto na Política Nacional Agrícola, instituída há vinte anos pela Lei Federal nº 8.171/91 (Brasil, 1991). Conforme esta lei, o poder público deve coordenar programas de estímulo e incentivo à preservação das nascentes dos cursos d'água e do meio ambiente, bem como o aproveitamento de dejetos animais para conversão em fertilizantes (capítulo IV, Artigo 19, inciso VII). A Lei Federal nº 10.831/03 (Brasil, 2003), que dispõe sobre a agricultura orgânica, determina igualmente que uma das finalidades do sistema de produção orgânica é a reciclagem de resíduos, reduzindo, assim, ao mínimo o emprego de recursos não renováveis. No entanto, verifica-se que, em nenhuma destas leis, são estabelecidos critérios de disposição destes dejetos, bem como dos resíduos agrícolas e da silvicultura, no solo.

A Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Brasil, 1998), que dispunha sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, já apontava como crime ambiental o manejo, tratamento e disposição inadequada de resíduos. No entanto, talvez em função da inexistência de regramento e da fiscalização inadequada, pouco se ouve falar em punições resultantes deste tipo de crime no setor agrossilvopastoril.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010a), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, alterou a Lei nº 9.605/98. Antes da aprovação desta lei, a legislação aplicável ao gerenciamento dos resíduos do setor agrossilvopastoril era restrita às legislações precedentes e às questões sanitárias, de produção e de comercialização. Existiam algumas diretrizes que orientavam o manejo, tratamento e uso dos resíduos orgânicos gerados neste setor, e legislações instituídas para outros setores que poderiam ser aplicáveis ao segmento em questão. A lei em discussão é o marco de mudanças necessárias no cenário nacional de resíduos sólidos e, assim, espera-se que normas mais específicas sejam criadas e aprovadas, suprindo carências regulatórias do setor.

No Artigo 13 da Lei nº 12.305/10, os resíduos são classificados quanto à sua origem, sendo o resíduo agrossilvopastoril definido como aquele proveniente de atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nestas atividades. Ainda no Artigo 15 da lei, é expresso que a União, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, é responsável pela elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que deve conter, no mínimo, entre outros pontos, o diagnóstico da situação, metas de redução, reutilização e reciclagem, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição ambientalmente adequada e, ainda, metas de aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos. Os planos estaduais devem considerar também as peculiaridades microrregionais.

Na sequência, são apresentados os instrumentos legais, resolutivos e normativos já existentes que poderiam ser aplicáveis ao regramento do setor agrossilvopastoril e indústrias primárias associadas e que, de alguma forma, poderiam atuar sobre a geração e o gerenciamento de resíduos e efluentes produzidos no setor.

Os resíduos agrícolas e da silvicultura possuem potencial para serem encaminhados a tratamento térmico, sendo que os procedimentos e critérios para o funcionamento destes sistemas de tratamento são dispostos pela Resolução Conama nº 316/2002 (Brasil, 2002).

Nesta resolução, como apresentado no Artigo 1º, tem-se como objetivo disciplinar os processos de tratamento térmico de resíduos e cadáveres, estabelecendo procedimentos operacionais, limites de emissão e critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de efluentes, de modo a minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde pública resultantes destas atividades.

Com a queima dos resíduos orgânicos, como aqueles gerados principalmente na agroindústria de processamento de produtos agrícolas e da silvicultura, ocorre a emissão de gases, sendo o limite de emissão destes poluentes atmosféricos para fontes fixas estabelecido pela Resolução Conama nº 382/06 (Brasil, 2006b). Destacam-se nesta resolução os anexos III e IV, que se referem, respectivamente, aos limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar e de derivados da madeira.

Relativamente aos processos de preservação da madeira, o pentaclorofenol, bastante utilizado no tratamento desta, foi proibido em 2006, pela Resolução Anvisa/RDC nº 164 (Anvisa, 2006), em virtude de sua toxicidade e permanência no meio ambiente. Outro preservativo que está em discussão é o brometo de metila, utilizado para tratamentos quarentenários e fitossanitários de embalagens e suportes de madeira para fins de importação e exportação. Em 1987, o Brasil, como signatário do Protocolo de Montreal, assumiu o compromisso de reduzir em 20% o consumo do brometo de metila (média de 1995-1998) no ano de 2005 e eliminar completamente o seu uso até o ano de 2015.

Além disso, os resíduos de madeira, gerados em serrarias, madeireiras ou moveleiras, eram comumente utilizados como cama de aviário, combustível para fornos de clínquer, olarias ou outros, potencializando os impactos gerados por estes componentes no ar, solo e água e, conseqüentemente, nos seres vivos.

Alguns resíduos, como os gerados na agroindústria da banana, laranja, soja e outros, possuem potencial para serem utilizados na produção de biodiesel. Na sequência, são listados alguns instrumentos legais que deliberam sobre a produção, utilização, financiamento e inserção do biodiesel na matriz energética brasileira.

Resolução Conama nº 16, de 17 de dezembro de 1993 (Brasil, 1993) – Dispõe sobre a obrigatoriedade de licenciamento ambiental para as especificações, fabricação, comercialização, e distribuição de novos combustíveis, e dá outras providências.

Portaria ANP nº 240, de 25 de agosto de 2003 (ANP, 2003) – Estabelece a regulamentação para a utilização de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não especificados no país.

Lei Federal nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (Brasil, 2005b) – Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.

Decreto Federal nº 5.448, de 20 de maio de 2005 (Brasil, 2005a) – Regulamenta o § 1º do Artigo 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, e dá outras providências.

Em relação aos efluentes gerados nas agroindústrias, cita-se a Resolução Conama nº 430/11 (Brasil, 2011a), que complementa e altera a Resolução Conama nº 357/05, de 17 de março de 2005, dispondo sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Os critérios estabelecidos nestas resoluções devem ser considerados pelas agroindústrias primárias associadas ao setor agrossilvopastoril, se enquadrando aos padrões de lançamento estabelecido pela referida Resolução. No Artigo 2º da Resolução Conama 430/11 (Brasil, 2011a) é deliberado que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta resolução, não podendo ser aplicada aos efluentes gerados nas criações animais. Porém, frisa, em seu Artigo 3º, que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento, e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em outras normas aplicáveis.

5.1 Avaliação da legislação existente

Como se pode observar, a legislação publicada em nível nacional que rege o manejo, tratamento, disposição e uso dos resíduos sólidos do setor agrossilvopastoril é bastante restrita. Assim, com vistas a suprir as carências normativas voltadas ao gerenciamento dos resíduos do setor agrossilvopastoril, sugerem-se algumas medidas:

- a implementação de instrumentos legais que instituam como documento básico das atividades o Plano de Gerenciamento dos Resíduos no Setor Agrossilvopastoril;
- a inclusão do setor no Sistema Nacional de Informações de Resíduos Sólidos;
- o incentivo ao aproveitamento energético dos resíduos agrossilvopastoris, através de sistemas de tratamento (combustão ou biodigestão) individuais ou consorciados;
- a criação de fundos de investimento que visem à implementação de projetos ecoeficientes na produção e nas agroindústrias primárias associadas ao setor agrossilvopastoril, buscando a minimização da geração de resíduo e seu manejo adequado; e
- a elaboração de políticas que subsidiem o manejo florestal, indicando a necessidade do plano de manejo de resíduos que sobram no campo, de modo análogo à Resolução Conama nº 406/2009 (Brasil, 2009).

Além destas medidas, o governo federal deve estimular que normativas regionais, estaduais ou municipais sejam criadas, a fim de suprir a necessidade de realidades específicas, tendo sempre associados programas de educação ambiental.

Especificamente para o setor da cadeia da madeira, sugere-se como modelo a Portaria Alemã, denominada de Portaria da Madeira (Alemanha, 2002), que regulamenta os requisitos de recuperação de resíduos e regula a reciclagem (de material e energia) e a eliminação de resíduos de madeira na Alemanha. Os resíduos de madeira dos quais a portaria trata, referem-se aos que são gerados na indústria, bem como ao material deixado no campo após a extração. A Portaria da Madeira regulamenta a recuperação e procedimentos de descarte de resíduos de madeira, separando os resíduos de madeira em diferentes categorias, que são importantes em relação à decisão para a reciclagem ou eliminação. O quadro 4 apresenta as categorias propostas para classificação dos resíduos de madeira, segundo o potencial de risco e reciclabilidade.

QUADRO 4
Categorias de resíduos definidas pela legislação alemã (Portaria da Madeira)

| Categoria | Designação | Origem (exemplos) | Valorização / eliminação |
|----------------------------------|---|--|---|
| A I | Madeira natural ou mecanicamente processada, praticamente não contaminada | Móveis feitos de madeira maciça, sem folhas adesivas | Adequados para reciclagem (por exemplo, produção de novas partículas) |
| A II | Madeira colada, resíduo de madeira revestido, envernizado ou tratado sem compostos orgânicos halogenados e sem conservantes de madeira | Painéis colados, móveis sem PVC, portas interiores e tábuas | Adequados para reciclagem (por exemplo, produção de aglomerado novo) |
| A III | Resíduos de madeira com compostos orgânicos halogenados no revestimento, mas sem conservantes de madeira | Móveis com bordas de PVC ou revestimentos de PVC | Recuperação térmica em uma planta adequada |
| A IV | Resíduos de madeira tratada com conservantes de madeira, tais como dormentes, postes de telefone, lúpulo, postes de vinha, bem como outros resíduos que, devido à sua contaminação, não podem ser atribuídos às categorias AI, AII e AIII, com exceção de resíduos de madeira que contenham PCB | Dormentes, postes, vigas, janelas, portas exteriores, cercas e móveis de jardim em madeira | Recuperação térmica em uma planta adequada |
| Resíduos de madeira contendo PCB | Resíduos de madeira que são tratados com agentes que contêm bifenilos policlorados (PCBs) | Carvão creosoto impregnado, postes, dormentes, placas de isolamento | Destinação adequada em aterros de resíduos perigosos |

Fonte: Alemanha (2002).

A ausência de uma legislação específica para madeiras tratadas é outro problema existente quanto ao descarte da madeira, quer seja no âmbito da construção civil ou mesmo nas indústrias e residências. Há uma falha no sentido de não existir um padrão normativo que oriente e alerte para o descarte dos diferentes tipos de madeira. Este comportamento induz o mercado a tratar todos os resíduos de madeira da mesma forma, tendo surgido um mercado de resíduo de madeira tratada utilizado como combustível, o qual pode trazer problemas ambientais com impactos irreversíveis.

Algumas recomendações quanto aos resíduos de madeira deveriam estar expostas em um instrumento resolutivo ou normativo, orientando de forma correta o descarte ou reutilização de madeira tratada. Algumas orientações apresentadas pela associação norte-americana de fabricantes CCA Research deveriam ser avaliadas e trabalhadas, auxiliando na elaboração de um instrumento resolutivo.

Conforme essa associação, o resíduo de madeira tratada com CCA (cromo, cobre, arsênico) não pode ser queimado sem um controle ambiental rigoroso, pois libera arsênico e cinzas contendo metais pesados (John, 2011); a madeira industrializada, que possui adesivos, também não deve ser queimada sem controle ambiental; a madeira tratada não pode ser reduzida a cavacos para uso em proteção de animais, pois aumenta a área exposta, intensificando a lixiviação; e o depósito no solo também deve ser banido, pois poderá ocorrer lixiviação do material, contaminando o solo e o lençol freático. De uma forma geral, estes resíduos de madeira tratada não podem ser reutilizados em situações nos quais terão contato direto com o ser humano, como mesas, revestimentos de paredes internas etc., o que infelizmente acontece na arquitetura brasileira (John, 2011). John (2011) afirma, ainda, que algumas entidades, como a California Short Line Railroad Association, recomendam o uso de luvas e máscaras, quando se trabalha com madeira tratada.

Diante dessas informações, o estabelecimento de uma legislação que determine critérios de disposição para a madeira vem contribuir como solução inicial para os problemas relacionados ao descarte inadequado deste produto.

6 PLANOS E PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS

6.1 Programas governamentais de incentivo ao manejo e tratamento de resíduos do setor agrossilvopastoril

Uma das iniciativas desenvolvidas pelo governo federal na área de resíduos é o programa denominado Brasil Joga Limpo. Este programa foi elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente no ano de 2000, com a finalidade de desenvolver ações de melhor gestão dos resíduos nas cidades e no campo, por meio de um trabalho conjunto e participativo, integrando governo e comunidade com vantagens no aspecto ambiental e social destas comunidades. Os objetivos do programa eram evitar a geração de resíduos e aumentar a reciclagem e o reaproveitamento destes, garantindo destinação adequada a todos os resíduos em consonância com as normas ambientais (Quirino, 2004).

As principais ações que seriam atendidas pelo programa são:

- elaboração do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos;
- elaboração do projeto executivo para a implantação do investimento previsto;
- implantação de aterros sanitários;
- implantação de unidades de tratamento;
- implantação de unidades de obras de destino final;
- implantação de coleta seletiva; e
- recuperação de lixões.

Com relação à gestão ambiental rural, o Brasil Joga Limpo direcionou-se às causas que resultam em impactos ambientais (desmatamento, erosão, enchentes, contaminação dos recursos hídricos, resíduos de agrotóxicos) e que agravam a situação de pobreza na área rural e em cidades de pequeno porte (Abrasil, s.d.). A atuação do programa voltava-se para a elaboração e disseminação de informações e/ou de normas, critérios e instrumentos tecnológicos e metodológicos de gestão que orientassem os assentamentos humanos no meio rural nos aspectos relacionados ao uso adequado do solo, saneamento rural, proteção de matas ciliares e mananciais, uso e manejo dos resíduos sólidos do campo, oriundos de atividades agrícolas e não agrícolas, incluindo a gestão de resíduos agroindustriais e domésticos.

Este programa fez parte do Plano Plurianual 2000-2003 do governo federal. Uma análise crítica realizada pela Agência Avança Brasil apresentou a necessidade de melhorias na caracterização do público-alvo, capacitação de gestores e técnicos, geração de indicadores, acompanhamento *in loco* de monitoramento de projetos, além de sua reformulação. Não existem referências quanto aos resultados do programa; destaca-se, porém, a necessidade de elaboração de programas semelhantes que incentivem a minimização da geração de resíduos, reciclagem e reaproveitamento dos resíduos relativos ao setor agrossilvopastoril.

Outra estratégia do governo federal voltada à utilização dos resíduos agrossilvopastoris é o Plano Nacional de Agroenergia (PNA), desenvolvido para o período de 2006-2011 (Brasil, 2006a). Este plano objetiva, a partir da análise da realidade e das perspectivas futuras da matriz energética mundial, organizar uma proposta de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e transferência de tecnologia (TT). A proposta visa conferir sustentabilidade, competitividade e maior equidade entre os agentes das cadeias de agroenergia, em conformidade com os anseios da sociedade, as demandas dos clientes e as políticas públicas

das áreas energética, social, ambiental, agropecuária e de abastecimento. Conforme informações apresentadas no documento, em curto prazo, uma das forças propulsoras da demanda por agroenergia será a pressão ambiental pela substituição de combustíveis fósseis.

A proposta de PD&I e TT desdobra-se em quatro grandes áreas baseadas nas principais cadeias produtivas agroenergéticas: o etanol e a cogeração de energia, provenientes da cana-de-açúcar; o biodiesel de fontes animais e vegetais; a biomassa florestal e os resíduos e dejetos agropecuários e da agroindústria.

O foco de PD&I e TT tem como etapas a matéria-prima, os processos e formas de energia. Como *matérias-primas*, o programa aponta os produtos agrícolas, produtos florestais, resíduos e dejetos. A estas matérias-primas serão aplicados os *processos* de fermentação, pirólise, gaseificação, digestão anaeróbia, combustão, reação química e hidrólise. A *energia* poderá ser aproveitada na forma de calor, eletricidade ou biocombustíveis.

O Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 (Brasil, 2006a) estabelece que a agricultura é alternativa viável, do ponto de vista econômico, social e ambiental, para a geração de energia renovável. A produção de álcool, a partir de cana-de-açúcar, é um exemplo mundial de sucesso, por substituir parte substancial de gasolina utilizada no transporte, sendo possível repetir o mesmo processo com outras biomassas. O documento assevera ainda que, sendo a agricultura alternativa viável para enfrentar os desafios da produção da agroenergia, passa a ser responsabilidade do Mapa desenvolver uma programação que atenda às necessidades do país por suprimento de bioenergia.

Para os efeitos do PNA, considera-se que a agroenergia é composta por quatro grandes grupos: etanol e cogeração de energia provenientes da cana-de-açúcar; biodiesel de fontes lipídicas (animais e vegetais); biomassa florestal e resíduos; e dejetos agropecuários e da agroindústria. Das florestas energéticas, obtêm-se diferentes formas de energia, como lenha, carvão, briquetes, finos (fragmentos de carvão com diâmetro pequeno) e licor negro. O biogás é originário da digestão anaeróbia da matéria orgânica. O biodiesel pode ser obtido de óleos vegetais, gorduras animais ou resíduos da agroindústria. O etanol, embora possa ser obtido de outras fontes, apresenta competitividade quase imbatível quando resultante da cana-de-açúcar. E os resíduos, tanto da produção agropecuária quanto da agroindústria, bem como os dejetos deste processo, podem ser convertidos em diferentes formas secundárias de energia, como briquetes, biogás, biodiesel etc.

Entre os programas desenvolvidos em nível nacional, cita-se também o Programa da Agricultura de Baixo Carbono – ABC (Brasil, 2010c). As ações a serem desenvolvidas pelo referido programa estão inseridas no Plano Agrícola e Pecuário 2010-2011 e preveem a aplicação de R\$ 2 bilhões em técnicas que garantem eficiência no campo, com balanço positivo entre sequestro e emissão de dióxido de carbono (CO₂).

O ABC tem como proposta difundir uma nova agricultura sustentável, que reduza o aquecimento global e a liberação de carbono na atmosfera, e incentiva as seis iniciativas básicas listadas a seguir, com metas e resultados previstos até 2020:

- plantio direto na palha;
- recuperação de pastos degradados;
- integração lavoura-pecuária-floresta;
- plantio de florestas comerciais;

- fixação biológica de nitrogênio; e
- tratamento de resíduos animais.

A iniciativa de tratamento dos resíduos animais visa aproveitar os dejetos de suínos e de outros animais para a produção de energia (gás) e de composto orgânico, além do benefício da possibilidade de certificados de redução de emissão de gases, emitidos por mercados compradores. O objetivo desta iniciativa é tratar 4,4 milhões de m³ de resíduos da suinocultura e outras atividades, deixando de lançar 6,9 milhões de t de CO₂ equivalentes na atmosfera.

6.2 Programas de apoio financeiro

A Resolução nº 3.979, de maio de 2011 (BCB, 2011), dispõe sobre programas de investimento agropecuário amparados em recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Entre os programas incluídos nesta resolução, citam-se a seguir três com relevância para o manejo e tratamento de resíduos agropecuários.

- 1) Programa de Modernização da Agricultura e Conservação dos Recursos Naturais (Modeagro).

Os investimentos deste programa são de até R\$ 850 milhões, podendo ser financiáveis os itens de: construção, instalação e modernização de benfeitorias; aquisição de equipamentos de uso geral, inclusive os para o manejo e contenção dos animais e para a geração de energia alternativa à eletricidade convencional; investimentos necessários ao suprimento de água, alimentação e tratamento de dejetos relacionados às atividades de criação animal; além de obras decorrentes da execução de projeto de adequação sanitária e/ou ambiental relacionado às atividades constantes das finalidades do Programa Modeagro.

- 2) Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agropecuária (PRODECOOP).

Os investimentos deste programa são de até R\$1,95 bilhão, sendo financiáveis itens ligados ao manejo e tratamento de dejetos, tais como: implantação de sistemas para geração e cogeração de energia e linhas de ligação, para consumo próprio, como parte integrante de um projeto de agroindústria; implantação, conservação e expansão de sistemas de tratamento de efluentes e de projetos de adequação ambiental, inclusive reflorestamento; implantação, ampliação e modernização de projetos de adequação sanitária; e instalação, ampliação e modernização de unidades industriais para a produção de biocombustíveis e açúcar.

- 3) Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura (Programa ABC).

Os investimentos deste programa são de até R\$ 2,3 bilhões, sendo financiáveis: implantação de sistemas orgânicos de produção agropecuária; implantação, manutenção e manejo de florestas comerciais, inclusive aquelas destinadas ao uso industrial ou à produção de carvão vegetal; adequação ou regularização das propriedades rurais frente à legislação ambiental, inclusive recuperação da reserva legal, de áreas de preservação permanente, e o tratamento de dejetos e resíduos, entre outros; e implantação de planos de manejo florestal sustentável.

Outra resolução que prevê recursos para o manejo e tratamento de dejetos animais é a Resolução nº 3.896, de 17 de agosto de 2010 (BCB, 2010), que institui, no âmbito do BNDES, o Programa ABC, já citado anteriormente. Para este programa foi disponibilizado o montante de recursos disponíveis de até R\$ 1 bilhão, a serem aplicados no período de 1º de julho de 2010 a 30 de junho de 2011.

Outros programas de cunho financeiro do governo direcionados para o setor florestal estão apresentados no quadro 5. Destes programas, cabe destacar o PRONAF ECO, que incentiva tecnologias ambientais como a compostagem e geração de energias renováveis e traz como exemplo a utilização da biomassa. Este programa representa um avanço para o país, no sentido de agregar valor econômico aos resíduos oriundos do setor de silvicultura, fator importante diante da nova mentalidade que o país deve apresentar após a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Outros programas, como o PROPFLORA, também apresentam pontos positivos quanto à questão do resíduo sólido, uma vez que apontam para investimentos no manejo de florestas plantadas. No manejo, atualmente, perde-se uma grande quantidade de madeira, gerando, por sua vez, grande quantidade de resíduos. Projetos que venham contribuir para o melhor manejo e menor geração de resíduos devem ganhar destaque nos próximos anos.

QUADRO 5
Programas de financiamento florestal

| Programa | Beneficiários | Finalidade | Teto por beneficiário |
|--|--|--|-----------------------|
| Pronaf ECO | Grupo "agricultores familiares" | <ul style="list-style-type: none"> Financiar investimentos em: <ul style="list-style-type: none"> silvicultura (produtos madeireiros e não madeireiros); práticas conservacionistas e de correção da fertilidade do solo; tecnologias ambientais (estação de tratamento de efluentes, compostagem e reciclagem) e energia renovável (biomassa, energia solar etc.); e cultura do dendê. | R\$ 50 a R\$ 65 mil |
| Propflora | Produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas) e suas associações e cooperativas | <ul style="list-style-type: none"> Financiar investimento em: <ul style="list-style-type: none"> implantação e manutenção de florestas destinadas ao uso industrial e à produção de carvão vegetal; recomposição e manutenção de APP e de RL; projetos agroflorestais; implantação de viveiros de mudas florestais; manejo florestal; e implantação e manutenção de plantios de dendezeiro destinados à produção de biocombustível. Financiamento de custeio associado a projeto de investimento, limitado a 35% do seu valor. Financiar despesas relacionadas ao uso de mão de obra própria. | R\$ 300 mil |
| Produsa | Produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas) e suas cooperativas | <ul style="list-style-type: none"> Implantação de sistemas de "integração lavoura-pecuária e silvicultura" (adequação do solo para implantação de florestas e pastagens; construção de instalações; assistência técnica); recuperação de áreas degradadas e adequação ambiental de propriedades rurais (notadamente a recomposição das áreas de RL e APP, inclusive mediante o manejo florestal sustentável em RL); e sistemas orgânicos de produção agropecuária. Financiar custeio associado ao investimento: até 30% do valor financiado. | R\$ 300 a R\$ 400 mil |
| BNDES Florestal | Pessoas jurídicas de direito privado (sociedades, associações e fundações); empresários individuais; pessoas jurídicas de direito público. | <ul style="list-style-type: none"> Financiar florestamento e reflorestamento para fins energéticos: suprimento de madeira à cadeia produtiva de ferro gusa, ferroligas, produtos cerâmicos e cal (outros setores poderão ser apoiados). Financiar manejo florestal de áreas nativas (exceto projetos na mata atlântica). Financiar reflorestamento, com espécies florestais nativas, para fins de conservação e recuperação de áreas degradadas ou convertidas, inclusive APP e RL. | R\$ 1 milhão |
| BNDES – Apoio a Investimentos em Meio Ambiente | Pessoas jurídicas | <ul style="list-style-type: none"> Financiar: <ul style="list-style-type: none"> saneamento básico e projetos inseridos nos comitês de bacia hidrográfica; ecoeficiência: tratamento e reuso da água; substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis etc. conservação de ecossistemas e biodiversidade (controle de erosão; pesquisa de fármacos e cosméticos etc.) e recuperação de passivos ambientais (áreas degradadas com derramamento de óleos, percolação de substâncias nocivas etc.). Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): estudo de viabilidade, elaboração do projeto, documento de concepção de projeto (PDD) e processo de validação e registro. planejamento e gestão: certificações ambientais; estudos de impacto ambiental e as respectivas ações de prevenção e mitigação. | R\$ 10 milhões |

Fonte: SFB (2010).

6.3 Mercado de carbono

Conforme dados do Ministério da Ciência e Tecnologia (Brasil, 2011b), 7.532 projetos no mundo encontram-se em estágio de validação, aprovação e registro no Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Deste total, 3.134 projetos já estão registrados e 4.398 estão em outras fases do ciclo. Neste cenário, o Brasil ocupa o terceiro lugar, com 489 projetos (6%). Em primeiro lugar encontra-se a China, com 2.951 projetos (39%), e em segundo, a Índia, com 2.054 projetos (27%). Os estados com maior número de atividades de projeto do MDL, no Brasil, são: São Paulo, com 21%; Minas Gerais, com 16%; Rio Grande do Sul, com 10%; e Santa Catarina, com 9%.

O número de projetos brasileiros desenvolvidos na área de suinocultura soma 76, o que representa 15,5% do número de projetos, com uma redução anual de emissão de 4.222.884 t de CO₂ e, ou 8,2% de redução anual de emissão de CO₂.

Os principais projetos de MDL no setor agrícola estão relacionados principalmente à cogeração de energia com a utilização de bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz. Atualmente, a capacidade instalada de atividades aprovadas pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) que utilizam a cogeração com bagaço e outras biomassas, corresponde a 30% do total, gerando 1.334 MW. A maior parte destes projetos está associada à geração de energia a partir de resíduos de processamento de cana-de-açúcar, uma fonte renovável de energia, a qual se transforma em uma alternativa que permite prolongar a instalação e/ou despacho de eletricidade produzida por unidades de geração com combustível fóssil.

No setor florestal, os projetos de MDL se concentram na área de produção de eletricidade através de biomassa de resíduos de madeira oriundos de serrarias, as quais geram grande quantidade de resíduos. Estes projetos geralmente se enquadram na categoria de projetos de pequena escala, pois a capacidade instalada dificilmente ultrapassa 15 MW. Especialmente no setor florestal estão em discussão os projetos de REDD, sigla inglesa para *reduce emissions for deforestation and degradation* (emissões reduzidas do desmatamento e da degradação). O objetivo do REDD é pagar para manter as florestas intactas. O pagamento, por meio da venda de créditos de carbono, refletiria o valor do carbono armazenado nas florestas, ou os custos ambientais advindos da extração de madeira e da ocupação agropecuária. Embora desperte curiosidade e um grande interesse por parte dos investidores, REDD ainda não é um caminho consolidado, estabilizado. Falta escala de projetos realizados – *cases* reais, acessíveis, sobretudo, aos proprietários de médio e pequeno porte, e que possam ser replicados.

Os projetos elencados acima se enquadram no escopo setorial de energias renováveis, existindo atualmente 252 projetos na área, representando cerca de 52,1% das atividades existentes no Brasil. Conforme MCT (2011), a totalidade destas atividades apresenta um potencial de redução anual de CO₂ de 20.657.016 t e, correspondendo a 39,9% do total.

7 ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos mostraram uma ampla geração de resíduos advindos do setor agrossilvopastoril e suas agroindústrias associadas (tabelas 77, 78 e 79). Foi quantificado, para as culturas e criações consideradas no estudo, um total de 2,0 bilhões de t de resíduos sólidos e 725,7 milhões de m³ de efluentes, estimados com base na produção do ano de 2009. A maior quantidade de resíduos sólidos quantificados foi gerada pela criação de bovinos (81% do total), principalmente pelos dejetos das criações extensivas (61% do total). Os dejetos das criações confinadas de bovinos (leite), aves e suínos responderam juntos por

18% do total dos resíduos quantificados, enquanto as agroindústrias associadas às culturas estudadas geraram 14% do total. Em relação aos efluentes, a vinhaça representou, sozinha, 87% do volume total quantificado naquele ano, enquanto os outros 17% foram referentes aos efluentes gerados nas agroindústrias associadas à pecuária.

Atualmente, a geração de energia por biomassa no Brasil representa 6,76% de sua matriz energética, com capacidade instalada de 8.306 MW. Alguns dados referentes à utilização da biomassa para produção de energia no país são apresentados na tabela 80. A maior parte da capacidade instalada atual vem da queima do bagaço de cana-de-açúcar (6.111 MW).

O potencial energético total estimado neste estudo, caso todos os resíduos quantificados pudessem ser utilizados para o aproveitamento energético, seria de 25,9 GW de potência. Os resíduos agrícolas foram os que tiveram maior participação neste potencial (89% do total), a maior parte através da queima dos resíduos da cana-de-açúcar (63%). Sabe-se, porém, que o potencial real de utilização destes resíduos deve ser muito menor que o potencial total estimado no presente estudo, pois parte considerável de tais resíduos já é ou pode vir a ser utilizada para a alimentação animal, alimentação humana e produção de fertilizante orgânico – os quais são usos mais nobres –, entre outros. Além disso, ocorrem inviabilidades técnicas no aproveitamento energético dos resíduos, devidas a equipamentos, transportes, localização e outros, sendo que a geração não é centralizada para que se possa atingir todo o potencial energético existente. Estudos específicos em determinadas regiões, porém, podem aumentar a participação da utilização de resíduos de biomassa na matriz energética brasileira. Soma-se a isto o fato de que o modelo atual de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia do setor elétrico dificulta iniciativas de implantação de empreendimentos energéticos e precisa ser melhorado.

TABELA 77

Resumo dos dados de produção, geração de resíduos e potencial energético da agroindústria associada à agricultura (2009)

| Setor | Produto/fase | Produção total | | | Resíduos (%) | Total de resíduos (t/ano) | Efluentes (m ³ /ano) | Potencial energético (MW/ano) |
|---------------------------------------|---|--------------------|------------------------------|----------------------|----------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | Produção (t) | Consumo <i>in natura</i> (t) | Industrialização (t) | | | | |
| Agroindústria associada à agricultura | Culturas | | | | | | | |
| | Soja | 57.345.382 | - | 57.345.382 | 73 | 41.862.129 | - | 3.422 |
| | Milho | 50.745.996 | - | 50.745.996 | 58 | 29.432.678 | - | 2.406 |
| | Cana-de-açúcar (bagaço e torta de filtro) | 671.394.957 | - | 671.394.957 | 30 | 201.418.487 | - | 16.464 |
| | Cana-de-açúcar (vinhaça) | | | | - | - | 604.255.461 | - |
| | Feijão | 3.486.763 | - | 3.486.763 | 53 | 1.847.984 | - | 143 |
| | Arroz | 12.651.774 | - | 12.651.774 | 20 | 2.530.355 | - | 175 |
| | Trigo | 5.055.525 | - | 5.055.525 | 60 | 3.033.315 | - | 238 |
| | Mandioca | 23.786.281 | - | - | - | - | - | - |
| | Café | 2.440.057 | - | 2.440.057 | 50 | 1.220.029 | - | 97 |
| | Cacau | 218.487 | - | 218.487 | 38 | 83.025 | - | 7 |
| | Banana | 6.642.739 | 6.443.457 | 199.282 | 50 | 99.640 | - | - |
| | Laranja | 18.385.991 | 735.440 | 17.650.551 | 50 | 8.825.276 | - | - |
| | Coco-da-baía | 964.303 | 289.291 | 675.012 | 60 | 405.009 | - | 39 |
| | Castanha-de-caju | 220.505 | 110.253 | 110.253 | 73 | 80.484 | - | 8 |
| Uva | 1.365.720 | 751.146 | 614.574 | 40 | 300.459 | - | - | |
| Total | | 854.704.480 | 8.329.587 | 822.588.613 | - | 291.138.870 | 604.255.461 | 22.999 |

Elaboração dos autores.

TABELA 78

Resumo dos dados de produção, geração de resíduos e potencial energético da pecuária e agroindústrias associadas (2009)

| Setor | Produto/fase | Produção total | Total de resíduos (t/ano) | Efluentes (m ³ /ano) | Potencial energético (MW/ano) ¹ |
|------------------------------------|------------------------|--|---------------------------|---------------------------------|--|
| Pecuária | Criações | Cabeças | | | |
| | Aves (postura e corte) | 4.982.512.597 | 28.025.854 | - | 136 |
| | Bovinos (corte) | 182.824.866 | 1.338.458.709 | - | - |
| | Bovinos (leite) | 22.435.289 | 316.909.675 | - | 1.032 |
| | Suínos | 38.045.454 | 20.379.732 | - | 122 |
| | Subtotal | | 1.703.773.970 | - | 1.290 |
| Agroindústria associada à pecuária | Agroindústrias | Animais abatidos/ mil litros de leite | | | |
| | Abatedouro de aves | 4.773.641.106 | 289.312 | 69.434.780 | 7,6 |
| | Abatedouros de bovinos | 28.062.688 | 1.300.022 | 19.643.882 | 2,2 |
| | Abatedouro de suínos | 30.932.830 | 133.011 | 12.373.132 | 1,4 |
| | Graxaria | - | - | 6.844.808 | 0,8 |
| | Laticínio | 19.497.875 | - | 13.244.345 | 2,6 |
| | Subtotal | - | 1.722.345 | 121.540.947 | 15 |
| | Total | - | 1.705.496.315 | 121.540.947 | 1.305 |

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Potencial energético da pecuária gerado pela biodigestão dos dejetos das criações confinadas, e das agroindústrias gerado pelo aproveitamento total dos efluentes e biodigestão dos dejetos de bovinos e suínos.

TABELA 79

Resumo dos dados de produção, geração de resíduos e potencial energético da silvicultura

| Setor florestal | Produto/fase | Produção total (m ³ /ano) ¹ | Resíduos (%) | Total de resíduos (t/ano) | Potencial energético (MW/ano) |
|-----------------|------------------------|---|--------------|---------------------------|-------------------------------|
| | Colheita | 122.159.595 | 15 | 15.658.154 | 650 |
| | Processamento mecânico | - | 45 | 22.850.355 | 954 |
| | Total | - | - | 38.508.509 | 1.604 |

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Produção de madeira em tora.

TABELA 80

Matriz energética brasileira do tipo biomassa

| Tipo | Capacidade instalada | | (Proporção %) | |
|----------|----------------------|-----|---------------|------|
| | Número de usinas | MW | | |
| Biomassa | Bagaço de cana | 336 | 6.611 | 5,38 |
| | Lícor negro | 14 | 1.245 | 1,01 |
| | Madeira | 41 | 359,5 | 0,29 |
| | Biogás | 14 | 70,7 | 0,06 |
| | Casca de arroz | 6 | 18,9 | 0,02 |

Fonte: Aneel (s.d.).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório fundamentou-se em um diagnóstico preliminar dos resíduos orgânicos gerados no setor agrossilvopastoril e nas agroindústrias primárias associadas, com vistas a subsidiar a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída por meio da Lei nº 12.305, de agosto de 2010.

As estimativas da geração de resíduos oriundos das agroindústrias associadas à agricultura foram feitas com base na produção do ano de 2009 (IBGE, 2010) para as culturas temporárias e permanentes mais representativas em termos de área cultivada no Brasil, sendo estimado um total de 291 milhões de t de resíduos. Se todos estes resíduos fossem utilizados para fins energéticos, poderiam representar um potencial energético instalado de até 23 GW/ano, o que equivale a 191.398 GWh/ano. Os resíduos que apresentaram maior potencial de produção de energia, cerca de 69% do total estimado para o setor, foram o bagaço e a torta de filtro, oriundos da cana-de-açúcar, gerados em sua maioria na região Sudeste.

É importante destacar, porém, que parte significativa dos resíduos gerados nas agroindústrias já é destinada para outros usos, como a alimentação animal, alimentação humana, fertilizante orgânico, entre outros, os quais são usos nobres que não foram quantificados neste estudo. Portanto, a quantidade de resíduos que estaria disponível para uso energético seria, na realidade, menor do que a estimada. Ressalta-se também que, em muitos casos, o emprego destes resíduos para adubação orgânica pode ser estrategicamente mais interessante para o Brasil do que o uso energético, pois diminuiria a dependência de insumos importados para fertilização das culturas, além de melhorar a qualidade dos solos através da adição de matéria orgânica.

As agroindústrias associadas à agricultura geram ainda efluentes, estando neste diagnóstico pontuada a geração da vinhaça a partir do processamento da cana-de-açúcar nas destilarias. Este efluente, para o ano de 2009, foi gerado num volume de 604 milhões de m³, entretanto, não foi considerado para a geração de energia, pois este resíduo é comumente empregado *in natura* nas lavouras de cana-de-açúcar na forma de fertirrigação.

Em relação às estimativas de produção de dejetos pela pecuária, obteve-se um valor de 1,7 bilhão de t/ano para o Brasil, sendo que 32% deste dejetos são gerados na região Centro-Oeste, onde está concentrada a criação de bovinos de corte. No entanto, como a criação de bovinos de corte ocorre em sua maioria no modelo extensivo, não há viabilidade de aproveitamento dos dejetos, que ficam dispostos no solo, em sistemas de biodigestão.

A região Sul merece destaque pela quantidade de dejetos gerados na criação de aves de corte (7,5 milhões de t/ano – não considerando a cama de aviário) e dejetos de suínos (9,8 milhões de t/ano). A região Sudeste se destaca pela quantidade de dejetos gerados pelas criações de gado de leite (106 milhões de t/ano) e aves de postura (4,3 milhões de t/ano). Se todos estes dejetos fossem utilizados para biodigestão, gerariam um potencial de 10.736 GWh/ano. Além das criações, têm-se as indústrias primárias (abatedouros, laticínios e graxarias), que geram resíduos sólidos e líquidos, e possuem potencial para geração de 129 GWh/ano.

A avaliação da geração dos resíduos da silvicultura foi realizada com base em estimativa de resíduos gerados na colheita florestal, processamento mecânico da madeira e

produção de papel e celulose. Estimou-se um total de 85 milhões de m³/ano de resíduo florestal em duas etapas da cadeia produtiva da madeira (colheita e processamento mecânico), provenientes em maiores quantidades dos estados do Paraná, São Paulo, Bahia e Santa Catarina, não sendo contabilizada a geração na segunda indústria de transformação. Os resíduos das indústrias de papel e celulose totalizaram 10 milhões de t/ano, não sendo quantificados especificamente para as regiões. Para o setor da silvicultura estimou-se uma geração potencial de 1.604 MW/ano, não sendo contabilizado o potencial gerado, por exemplo, nas indústrias de celulose, como o caso do licor negro, que é utilizado como co-geração de energia nas indústrias de celulose.

A energia elétrica gerada a partir dos resíduos advindos do setor agrossilvopastoril serviria para atender prioritariamente às necessidades dos empreendimentos, e o excedente poderia ser comercializado, dependendo das condições do mercado de energia. Ressalta-se, porém, que qualquer sistema gerador de energia possui um gasto de operacionalização na própria planta, ou seja, parte do valor total de energia estimado seria empregada na operação da própria planta. Além disso, o aproveitamento energético dos resíduos esbarra, muitas vezes, em dificuldades técnicas e logísticas, relacionadas a transporte dos resíduos e escala dos empreendimentos, o que faz com que o potencial real que poderia ser gerado seja menor que o potencial aqui estimado. É importante frisar, ainda, que estudos mais específicos devem ser realizados considerando a geração espacial destes resíduos, formação de *clusters*, implementação de sistemas coletivos de biodigestão ou combustão, quando possível, para analisar a sua viabilidade econômica. Reitera-se que a tecnologia de biodigestão evita a emissão de trilhões de m³ de metano por ano, gera um composto estável, com menor potencial poluidor, elimina patógenos e reduz odores.

No que diz respeito à combustão, uma avaliação conjunta entre resíduos agrossilvopastoris e resíduos sólidos urbanos pode ser viável, uma vez que, dependendo da opção tecnológica e da localização destes sistemas, a geração de energia pode ser otimizada. Neste sentido, sempre que se pensar em sistemas térmicos, é fundamental que se avalie a geração de resíduos como um todo (urbano e agrossilvopastoril), considerando-se o potencial energético agregado, mas também se realizem estudos de logística, custo-benefício e viabilidade econômica.

Os impactos ambientais causados pela geração de resíduos das atividades avaliadas, bem como das agroindústrias associadas, podem ser positivos quando estes forem utilizados como fertilizante orgânico ou utilizados como fonte de energia renovável. Entretanto, caso estes resíduos não sejam bem manejados, tratados e dispostos, possuem alto potencial de gerar impactos negativos, provocando contaminação do solo, da água e do ar, além de riscos à saúde ambiental e ao funcionamento dos ecossistemas, custos para a saúde pública e, em longo prazo, podem inviabilizar a continuidade destas atividades. Outro aspecto a ser considerado, embora não seja foco deste estudo – mas o é no que diz respeito aos impactos potenciais das atividades –, é o consumo de água, que, dependendo do recurso de onde esta seja retirada, pode inviabilizar a atividade.

Na análise da legislação, identificaram-se como principais carências a falta de normativas que instituam como documento básico das atividades o plano de gerenciamento dos resíduos no setor agrossilvopastoril, inclusão de informações do setor no sistema de informações de resíduos sólidos e incentivo ao seu uso para a produção de fertilizantes orgânicos e aproveitamento energético através de sistemas individuais ou consorciados de tratamento (combustão ou biodigestão).

Cabe uma ressalva, ainda, no que se refere, aos resíduos de madeira, uma vez que estes têm uma contribuição importante em outros setores geradores de resíduos, em particular, nos resíduos urbanos. Os resíduos de madeira merecem um destaque especial na política, tanto pelo volume gerado na indústria de beneficiamento e no pós-consumo de produtos de base florestal e moveleiro, quanto pelo potencial de periculosidade que apresentam no caso de madeiras tratadas com preservantes.

REFERÊNCIAS

AALBORG INDUSTRIES S. A. **Poder calorífico inferior dos resíduos**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.aalborg-industries.com.br/downloads/poder-calorifico-inf.pdf>>.

ABEF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGO. **Exportações brasileiras de carne de frango**. 2009. Disponível: <http://www.abef.com.br/noticias_portal/exibenoticia.php?notcodigo=1708>.

ABIB – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DA BIOMASSA. **Inventário residual Brasil**. 2011. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/accounts/200968>>.

ABIMCI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Resíduos de madeira geradores de receita**. [s.d.]. (Artigo Técnico, n. 4). Disponível em: <http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_docman&task.>. Acesso em: 12 jul. 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004/2004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 – ano base 2009**. Brasília: ABRAF, 2010.

ABRASIL. **Brasil Joga Limpo**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.abrasil.gov.br/avalppa/RelAvalPPA2002/content/av_prog/295/prog295.htm>.

ALEMANHA. Ministério Federal de Cooperação Econômica e Desenvolvimento. **Guía de protección ambiental**: material auxiliar para la identificación y evaluación de impactos ambientales. Eschborn: GMBH, 1996. Disponível em: <<http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol247.htm#53.%20Mataderos%20y%20elaboraci%EF%BF%BDn%20de%20productos%20c%EF%BF%BDrnic>>. Acesso em: 2 maio 2011.

_____. **Altholzverordnung – AltholzV**. Ordinance on the Requirements Pertaining to the Recovery and Disposal of Waste Wood. [s.l.: s.n.], 2002.

ALENCAR, M. M.; POTT, E. B. **Criação de bovinos de corte na Região Sudeste**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/BovinoCorte/BovinoCorteRegiaoSudeste/index.htm>>.

ALEXANDRINO, A. M. *et al.* **Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus* (Jack:Fr)**. Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v27n2/25.pdf>>.

ALVES, P. A. M.; LIZIEIRE, R. S. Teste de um Sucedâneo na produção de vitelos. **Revista brasileira de zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 817-823, 2001.

AMARAL, A. L. *et al.* **Boas práticas de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. (Circular Técnica, n. 50).

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.anda.org.br>>.

ANEEL – AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz de energia elétrica**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp>>.

_____. **Panorama do potencial de biomassa no Brasil**. 2002. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/panorama_biomassa.pdf>.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. **Portaria nº 240, de 25 de agosto de 2003**. Estabelece a regulamentação para a utilização de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não especificados no País. Rio de Janeiro: ANP, 2003. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/docs/P240_2003.PDF>.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº 164, de 18 de agosto de 2006**. Brasília: Anvisa, 2006. Disponível em: <ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpssp/bibliote/informe_eletronico/2006/iels.agosto.06/iels161/U_RS-ANVS-RDC-164_180806.pdf>.

ARIMA, E.; VERÍSSIMO, A.; SOUZA JUNIOR, C. **A atividade madeireira e desmatamento na Amazônia**. Piracicaba: Embrapa, 1999.

ASAE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Manure production and characteristics**. St Joseph: ASAE, 2003.

AVILA, V. S. *et al.* **Sistema para produção de ovos com a poedeira Embrapa 051**. Concórdia: Embrapa, 2006. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/443750>>. Acesso em: 3 abr. 2011.

BCB – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução nº 3.896, de 17 de agosto de 2010**. Institui, no âmbito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura (Programa ABC). Brasília, 2010. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/normativo/detalharNormativo.do?N=110072118&method=detalharNormativo>>. Acesso em: 17 ago. 2011.

_____. **Resolução nº 3.979, de 31 de maio de 2011**. Dispõe sobre programas de investimento agropecuário amparados em recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Brasília, 2011. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/normativo/detalharNormativo.do?method=detalharNormativo&N=111037834>>. Acesso em: 21 jun. 2011.

BELLAVER, C. Alternativa sustentável para os resíduos industriais: compostagem acelerada. **Graxaria brasileira**: indústria de farinha e gordura animal, São Paulo, ano 3, n. 17, set.-out. 2010.

BELLOTE, A. F. J. *et al.* Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, jul./dez. 1998.

BERGAMIN, F. N. *et al.* Resíduo de fábrica de celulose e papel: lixo ou produto? *In*: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP; Faculdade de Ciências Econômicas, 1994. p. 97-120.

BLANCO ROJAS, M. L. **Beneficiamento e polpação da ráquis da bananeira Nanicão Musa Grupo AAA Giant Cavendishii**. 1996. Dissertação (Mestrado) – Ciência e Tecnologia de Madeiras do Departamento de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BOOG, E. G.; BIZZO, W. A.; VALLE, T. L. **Avaliação do potencial energético dos resíduos de campo da cultura da mandioca**. São Paulo: UEP, [s.d.].

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório Estatístico 2009/2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2009.pdf>>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Animal exportação**. Brasília: Mapa, [s.d.]a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/exportacao>>. Acesso em: 20 abr. 2011.

_____. _____. **Informações das culturas permanentes e temporárias do Brasil**. Brasília: Mapa, [s.d.]b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal>>. Acesso em: 27 abr. 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Serviço florestal brasileiro**. Brasília: MMA, [s.d.]c. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&cidEstrutura=95>>. Acesso em: 6 maio 2011.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 1 de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília: MMA, 23 jan. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>.

_____. _____. **Resolução Conama nº 16, de 17 de dezembro de 1993**. Dispõe sobre a obrigatoriedade de licenciamento ambiental para as especificações, fabricação, comercialização, e distribuição de novos combustíveis, e dá outras providências. Brasília, dez. 1993. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res95/res1695.html>>.

_____. _____. **Resolução nº 316, de 20 de novembro de 2002**. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Brasília, nov. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

_____. _____. **Resolução Conama nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, ago. 2006b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>.

_____. _____. **Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Brasília, dez. 2006c. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

_____. _____. **Resolução nº 406, de 2 de fevereiro de 2009**. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável-PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. Brasília, fev. 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=597>>.

_____. _____. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Brasília, maio 2011a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>.

_____. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 31 ago. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>.

_____. Lei Federal nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. Brasília, 17 jan. 1991. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8171.htm>.

_____. 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. Brasília, 12 fev. 1998. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/fauna/legislacao/lei_9605_98.pdf>.

_____. Lei Federal nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica, e dá outras providências. Brasília, 23 dez. 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.831.htm>.

_____. Decreto Federal nº 5.448, de 20 de maio de 2005. Regulamenta o § 1º do artigo 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, e dá outras providências. Brasília, 20 maio 2005a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5448.htm>.

_____. Lei Federal nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, nº 9.847, de 26 de outubro de 1999 e nº 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Brasília, 13 jan. 2005b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>.

_____. Ministério do Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2006a.

_____. _____. **Programa Agricultura de Baixo Carbono**. Brasília: Mapa, 2010b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/programa-abc>>.

_____. _____. **Anuário Estatístico do Agronegócio – Secretaria de Produção e Agroenergia**. Brasília: Mapa, 2010c. 78 p.

_____. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2 ago. 2010a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. Brasília: MCT, 2011b. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0216/216776.pdf>.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.

BRIÃO, V. B. **Estudo de prevenção à poluição em uma indústria de laticínios**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2000.

BRITO, M. A. *et al.* **Densidade relativa**. Brasília: Embrapa, [s.d]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html>. Acesso em: 2 abr. 2011.

CANADÁ. Environment Canada. **NPRI guidance manual for the wastewater sector**. 2009. Disponível em: <<http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=86E3D932-18&offset=12&toc=show>>. Acesso em: 30 jun. 2011.

CARVALHO, E. A.; BRINCK, V. **Briquetagem: tratamento de minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2004.

CENBIO – CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA BIOMASSA. **Atlas de bionergia do Brasil**. São Paulo, 2008.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB do agronegócio**. 2010. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>>. Acesso em: 5 maio 2011.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA; ESALQ – ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. **O Agronegócio e as questões ambientais**. Avicultura Industrial. 2006. Disponível em: <http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?tipo_tabela=cet&id=22284&categoria=manejo>. Acesso em: 20 fev. 2008.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Inventário nacional de emissões de metano pelo manejo de resíduos** – Enabling Brazil to fulfill its commitments to the United Nations convention on climate change. São Paulo: CETESB, jul. 1998. v. 1. (Relatório Final).

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resíduos agrossilvo-pastoris**. [s.l.]: CNRH, [s.d.]. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/pnrs/documentos/aud_contribuicoes/GT5_NORDESTE.pdf>.

CORONEL, D. A. *et al.* O Aproveitamento dos resíduos do setor florestal de Lages – Santa Catarina. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 22-25 jul. 2007, Londrina. **Anais...** São Carlos: USP/EESC, 1989. p. 129-140.

CORRÊA NETO, V.; RAMON, D. **Análise de opções tecnológicas para projetos de co-geração no setor sucroalcooleiro**. Brasília: SETAP, 2002.

CTENERG – FUNDO SETORIAL DE ENERGIA. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**. Brasília: CGEE, 2001.

CUENCA, M. A. G.; NAZÁRIO, C. C. **Importância econômica e evolução da cultura do cacau no Brasil e na região dos tabuleiros costeiros da Bahia entre 1990 e 2002**. Sergipe: Embrapa, 2004. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2004/doc-72.pdf>.

DANTAS FILHO, P. L. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DIAS, M. C. O. (Coord.). **Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999. 297 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Informações das culturas permanentes e temporárias do Brasil**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.embrapa.br/kw_storage/keyword.2007-06-04.9574582965>. Acesso em: 27 abr. 2011.

_____. **Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial** – Castanha-de-caju. Brasília: Embrapa, 2003. (Série Agronegócios).

_____. **Resíduo da uva processado para vinho é transformado em produto forrageiro**. Brasília: Embrapa, 18 jun. 2007. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/noticias/2007/junho/3a-semana/noticia.2007-06-18.2890923758>>.

FAO – ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Actas de la consulta mundial sobre paneles a base de madera**. Roma: FAO, 1975. 245 p.

_____. **Livestock Report – 2006**. 2006. Disponível em: <www.fao.org/docrep/009/a0255e/a0255e00.htm>. Acesso em: 20 abr. 2011.

FERNANDES, A. C.; LOPES, C. J. C. P. **Tratamento de efluentes em indústrias frigoríficas por processos de anaerobiose, utilizando reatores compartimentados em forma de lagoas**. Morrinhos, 2008. Disponível em: <bibliotecauegmorrinhos.com/tcc/docs/adelaide_pos.pdf>.

FINOTTI, A. R. *et al.* Uso energético de resíduos de madeira na cadeia produtiva de madeira móveis e possibilidades de geração de créditos de carbono. *In*: SCHNEIDER, V. E.; NEHME, M. C.; BEN, F. (Orgs.). **Polo moveleiro da Serra Gaúcha** – Sistemas de gerenciamento ambiental na indústria moveleira. Caxias do Sul: EDUCS, 2006, p. 191-230.

FOELKEL, C. **Gestão e coeficiente dos resíduos florestais lenhosos da eucaliptocultura**. 2007. Disponível em: <www.eucalyptus.com.br>. Acesso em: 7 maio 2011.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. **Frutas do Brasil** – Banana pós-colheita. Brasília: Embrapa, 2002.

FONTES, P. J. P. **Autossuficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento dos resíduos**. 1994. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

- FRAIFE FILHO, G. A.; BAHIA, J. J. S. **Radar Técnico – Mandioca**. Cruzeiro: CEPLAC, s.d. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/mandioca.htm>>.
- FRUTUOSO, A.; SILVA, M. Poluentes orgânicos persistentes. **AEP-Ambiente**, n. 50, 2001.
- GARAVELLO, M. E. P. E.; SOFFER, M. L. A. P. **Relatório técnico do sub projeto: viabilidade de implantação de planta piloto de produção de papel especial com fibra de bananeira**. São Paulo: ESALQ/USP, abr. 1997. (Projeto Nova Fronteira de Cooperativismo).
- GARCES JUNIOR, W. B.; DOMINGUES, E. G. **Análise de viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás como energia renovável em granjas de suínos**. Goiânia: IFGO, 2010.
- GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: [s.n.], 2000.
- GONÇALVES, M. T.; RUFFINO, T.; ROSALVO, T. **Aproveitamento do resíduo gerado na indústria madeireira**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS – EBRAMEM, 3., [s.l.: s.n.]. 1989. Disponível em: <www.remade.com.br/revista/>.
- GRANATO, E. F. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça**. São Paulo: UNESP, 2003.
- HILLIG, É.; SCHNEIDER, V. E.; PAVONI, E. T. Diagnóstico da geração de resíduos e dos sistemas de gestão ambiental das empresas do pólo moveleiro da serra Gaúcha. In: SCHNEIDER, V. E.; NEHME, M. C.; BEN, F. (Orgs.). **Pólo moveleiro da Serra Gaúcha: geração de resíduos e perspectivas para sistemas de gerenciamento ambiental**. Caxias do Sul: EDUCS, 2004. 165 p.
- HOMMA, A. K. O. *et al.* **Criação de bovinos de corte no estado do Pará**. Amazônia Oriental: Embrapa, 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/BovinoCorte/BovinoCortePara/paginas/manejo_rep.html>. Acesso em: 10 abr. 2011.
- HSI – HUMANE SOCIETY INTERNATIONAL. **O impacto da criação de animais para consumo no meio Ambiente e nas mudanças climáticas no Brasil**. [s.l.] HSI, 2011. Disponível em: <www.hsi.org/portuguese/issues/pecuaria-industrial/facts/mudancas_climaticas_pdf_intro.html>.
- HÜEBLIN, H. J. **Modelo para a aplicação da metodologia Zeri** – Sistema de aproveitamento integral da biomassa de árvores de reflorestamento. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2001. 139 f. Disponível em: <<http://www.ppgte.cefetpr.br/dissertacoes/2001/hans.pdf>>.
- IBDF – INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia, características e utilização**. [s.l.]: DPQ, 1998. v. 2.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Informações das culturas permanentes e temporárias do Brasil**. [s.l.]: IBGE, 2010. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&no=1>. Acesso em: 17 abr. 2011.
- _____. **Estados**. [s.l.]: IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=df>>.
- _____. **Pesquisa trimestral do abate de animais**. [s.l.]: IBGE, 2009a. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo1.asp?ti=1&tf=99999&e=v&t=1&p=AX&z=t&o=3>>. Acesso em: 2 abr. 2011.
- _____. **Pesquisa trimestral do leite**. [s.l.]: IBGE, 2009b. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=LT&z=t&o=24>> Acesso em: 2 abr. 2011.
- _____. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. [s.l.]: IBGE, 2009c. Disponível em: <www.igbe.gov.br>. Acesso em: 30 maio 2011.
- _____. **Pesquisa pecuária municipal – PPM**. [s.l.]: IBGE, 2009d.

IGLESIAS, M. B. *et al.* Aprovechamiento de residuos de platanera 1 Producción en las Islas Canarias sus características y alternativas de utilización. **Revista agroquímica tecnología de alimentos**, n. 217, 1987.

INEE – INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Dados de eficiência energética**. Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.inee.org.br/>>. Acesso em: 29 abr. 2011.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Wastewater Treatment and discharge. *In*: _____. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Geneva: IPCC, 2006. Cap. 6.

ISA – INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Almanaque Brasil Socioambiental**: uma nova perspectiva para entender o país e melhorar nossa qualidade de vida. São Paulo: [s.n.], 2005.

JACOBI, G. *et al.* Evaluation of methods for sorting CCA-treated wood. **Waste management**, p. 1.617-1.625, 2007.

JANIN, A. *et al.* Optimization of a chemical leaching process for decontamination of CCA-treated wood. **Journal of hazardous materials**, p. 136-145, 2009.

JOHN, L. **Unicamp extrai bio-óleo de resíduos agrícolas e serragem de madeira**. [s.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível: <<http://busca.estadao.com.br/ciencia/aplicada/2003/jul/09/72.htm>>. Acesso em: 21 maio 2011.

JOHN, V. M. Descarte de madeira tratada. **Revista técnica**, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/162/imprime185719.asp>>. Acesso em: 1º jun. 2011.

JARMAN, C. G. *et al.* Banana fibre: a review of its properties and small scale extraction and processing. **Tropical Products**, London, v. 19, n. 4, 1977.

LUCAS JR., J.; SANTOS, T. M. B. **Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás**. *In*: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA. Concórdia: UNESP, 2000. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/anais/anais65_lucas.pdf>.

LUCON, C. M. M.; CHAVES, A. L. R. **Horta orgânica**. São Paulo: IB/CPDSV, 2004.

MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos**. São Paulo: CETESB, 2008. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/.../laticinio.pdf>.

MALHEIROS, S. M. P.; PAULA JÚNIOR, D. R. **Utilização do processo de compostagem com resíduos agroindustriais**. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. [s.l.]:[s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais>>.

MELLO, L. M. R. **Produção e comercialização de uvas e vinhos – Panorama 2005**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2006.

MCCMAHON, V. *et al.* Evaluation of the potential of applying composting/bioremediation techniques to wastes generated within the construction industry. **Waste management**, p. 186-196, 2009.

MORAES, M. A. F. D. **Estudo da competitividade de cadeias integradas no Brasil**: impactos das zonas de livre comércio. Campinas: UNICAMP, 2002. (Nota Técnica).

MORO, L. **Utilização da “cinza” de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis***. 1994. Dissertação (Mestrado) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

- NOLASCO, A. M. **Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta** – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC.: caracterização e perspectivas. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- OLIVEIRA, P. A. V. (Coord.). **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa, 2004. 109 p.
- OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Estratégia global para contenção da resistência antimicrobiana**. Genebra: OMS, 2001.
- OVIDEIO, M. P. **Bagação de uva** – Produto nobre na alimentação humana. 2005. Disponível em: <<http://noticias.universia.com.br/ciencia-tecnologia/noticia/2005/07/18/470317/bagao-uva-produto-nobre-na-alimentao-humana.html>>.
- PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de graxarias**. São Paulo: CETESB, 2006a. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/.../graxaria.pdf>.
- PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno)**. São Paulo: CETESB, 2006b. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/abate.pdf>.
- PADILHA, A. C. M. *et al.* **Gestão ambiental de resíduos da produção na Perdigão Agroindustrial S/A - Unidade Industrial de Serafina Corrêa – RS**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., Ribeirão Preto, 2005.
- PAIVA, R. F. P. S. **A agricultura e seus impactos sobre o provimento dos serviços ecossistêmicos**. In: CONGRESSO SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., Porto Alegre, 2009.
- PEDROSO, I. L. P. B. Meio ambiente, agroindústria e ocupação dos cerrados: o caso do município do Rio Verde no sudoeste de Goiás. **Revista urutáguá**, Maringá, n. 6, 2005.
- PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M. Considerações sobre a questão dos dejetos e o meio ambiente. In: SOBESTIANSKY, J. *et al.* **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho**. Brasília: Embrapa, 1998.
- PEREIRA, F. N. **Cacau**. São Paulo, [s.d]. Disponível em: <www.nutrociencia.com.br/upload_files/arquivos/Artigo%20-%20cacau.doc>. Acesso em: 2 abr. 2011.
- PESSÔA, A. **Agricultura**. Brasília: MRE, 2009. Disponível em: <<http://www.brazil.guide.com.br/port/economia/agric/apresent/index.php>>. Acesso em: 12 jun. 2011.
- POHLMANN, M. **Levantamento de técnicas de manejo de resíduos da bovinocultura leiteira no estado de São Paulo**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: LPF/Ibama, 2004. Disponível em: <www.funtec.org.br/arquivos/aproveitamento.pdf>.
- REVISTA DA MADEIRA. **Gestão de resíduos sólidos na indústria madeireira**. nov. 2003. Disponível em: <www.remade.com.br>. Acesso em: 3 jun. 2011.
- REVISTA REFERÊNCIA. **Resíduo: fonte de energia**. 2009. Disponível em: <http://www.revistareferencia.com.br/index2.php?principal=ver_conteudo.php&uid=237&edicao2=47>. Acesso em: 11 jul. 2011.

REZZADORI, K.; BENEDETTI, S. **Proposições para valorização de resíduos do processamento do suco de laranja**. Florianópolis: UFSC, 2009.

ROCHA, M. H. **Uso da análise do ciclo de vida para a comparação do desempenho ambiental de quatro alternativas para tratamento da vinhaça**. 2009. Dissertação. (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

RODRIGUES, A. F. S. Mineração para o agronegócio. *In*: RODRIGUES, A. F. S. (Coord.). **Economia mineral do Brasil**. Brasília: DNPM, 2010. p. 532-595, Cap. 7.

ROQUE, C. A. L.; VALENÇA, A. C. V. **Painéis de madeira aglomerada**. [s.l.]: BNDES, 1998. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set805.pdf>>.

ROSSI, W. **A sustentabilidade da agricultura brasileira**. [s.l.: s.n.], 2011. Disponível em: <http://www.brasilagro.com.br/index.php?noticias/visualizar_impresao/14/34714>. Acesso em: 15 abr. 2011.

ROSSO, S. R. **Aproveitamento do resíduo da agroindústria da banana**: caracterização química e levantamento de parâmetros termodinâmicos. [s.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/aproveitamento-do-residuo-daagroindustriadabanana-caracteriza%3c3%a7%3c3%a3oquimicalevantamento/id/47039724.html>. Acesso em: 1º maio 2011.

SÁNCHEZ, L. H. **Avaliação de impacto ambiental**: conceito e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Guia de financiamento florestal**. Brasília: SFB, 2010.

SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Cadeia produtiva do setor florestal**. [s.l.: s.n.], s.d. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

SHIBATA, T. *et al.* A mass balance approach for evaluating leachable arsenic and chromium from an in-service CCA-treated wood structure. **Science of the Total Environment**, p. 624-635, 2007.

SILVA, F. A. M. S.; VIDAL, T. C. M.; SILVA, R. B. **Compostagem de resíduos das agroindústrias da banana e pupunha no Vale do Ribeira – SP**. Vitória: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/COMPOSTAGEM/05.pdf>>.

SILVA, M. A.; MACIEL, S. R. **Obtenção de etanol a partir da biomassa residual de laranja**. Rio de Janeiro: UFABC, [s.d.].

SILVA, M. B.; MORAIS, A. S. **Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação**. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, T. *et al.* **Banana – Fonte de energia**. *In*: FÓRUM NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO MÉDIO E TÉCNICO, 1., 2009.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C. O.; ALSINA, L. S. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista eletrônica de materiais e processos**, v. 2, n. 1, p. 27-32, 2007.

SIMIONI, F. J., HOEFLICH, V. F. Análise prospectiva da cadeia produtiva de energia de biomassa na região do planalto sul de Santa Catarina. *In*: CONGRESSO DA SOBER, 45., 2007, Londrina. **Anais...** Paraná: UFL, 22-25 jul. 2007.

_____. Cadeia produtiva de energia de biomassa na região do Planalto Sul de Santa Catarina: uma abordagem prospectiva. **Revista árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p.1.091-1.099, 2010.

SOFFNER, M. L. A. P. *et al.* **Avaliação do beneficiamento do engaço de bananeira, musa sp, para produção de polpa celulósica**. São Paulo: USP, 1998.

- SORDI, A.; SOUZA, S. N. M.; MAGALHÃES, E. A. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica proveniente do uso dos resíduos da avicultura de corte na mesorregião oeste do Paraná. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 316-321, 2004. (Nota Técnica).
- SOUZA, O.; SANTOS, I. E. **Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar pelos ruminantes**. Aracaju, 2002. (Comunicado Técnico, n. 7).
- SOUZA, O. *et al.* Bioetanol de bananas, polpa e cascas. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS*, 2., [s.d.].
- SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. São Paulo: FEFAP, 2006.
- STCP ENGENHARIA DE PROJETOS. **Otimização da gestão de resíduos e o desenvolvimento florestal**. *In: ENCONTRO NACIONAL DE GESTÃO DE RESÍDUOS – ENEGER*, 2., Curitiba, 2011.
- STEINFELD H. *et al.* **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. Rome: FAO, 2006.
- SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso. **Ciências agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 901-912, out./dez. 2010.
- TEIXEIRA, G. **Lenha ecológica**. [s.l.: s.n.]. 2003. Disponível no site: <www.ipef.br/servicos/clipping/>. Acesso em: 30 jun. 2011.
- TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005. 131 f.
- USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Agricultural waste management field handbook**. Washington: NEH/NRCS, 1992. Disponível em: <<http://www.wsi.nrcs.usda.gov/products/w2q/awm/handbk.html>>. Acesso em: 15 abr. 2011.
- VALE, A. T. *et al.* **Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café e de madeira**. Lavras: UFLA, 2007. p. 416-420.
- WANDER, P. R.; ALTAFINI, C. R. Uso energético de resíduos de madeira nas indústrias do Setor Moveleiro. *In: HILLIG, E.; SCHNEIDER, V. E.; PAVONI, E. Polo moveleiro da Serra Gaúcha: geração de resíduos e perspectivas para sistemas de gerenciamento ambiental*. Caxias do Sul: EDUCS, 2004.
- WOICIECHOWSKI, A. L. *et al.* **Produção de goma xantana a partir de resíduos da agroindústria do café**. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*. [s.d.].

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Coordenação

Cláudio Passos de Oliveira

Supervisão

Everson da Silva Moura

Marco Aurélio Dias Pires

Revisão

Andressa Vieira Bueno

Clícia Silveira Rodrigues

Hebert Rocha de Jesus

Idalina Barbara de Castro

Laeticia Jensen Eble

Leonardo Moreira de Souza

Luciana Dias

Olavo Mesquita de Carvalho

Reginaldo da Silva Domingos

Celma Tavares de Oliveira (estagiária)

Patrícia Firmina de Oliveira Figueiredo (estagiária)

Editoração

Aline Rodrigues Lima

Andrey Tomimatsu

Danilo Leite de Macedo Tavares

Jeovah Herculano Szervinsk Junior

Leonardo Hideki Higa

Daniella Silva Nogueira (estagiária)

Capa

Andrey Tomimatsu

Livraria

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, Térreo

70076-900 – Brasília – DF

Tel.: (61) 3315 5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Composto em Adobe Garamond Pro 11,5/13,8 (texto)
Frutiger 67 Bold Condensed (títulos, gráficos e tabelas)
Impresso em Offset 90g/m²
Cartão Supremo 250g/m² (capa)
Brasília-DF

Missão do Ipea

Produzir, articular e disseminar conhecimento para aperfeiçoar as políticas públicas e contribuir para o planejamento do desenvolvimento brasileiro.

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

SAE

SECRETARIA DE
ASSUNTOS ESTRATÉGICOS
DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

G O V E R N O F E D E R A L
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA